

## Obsah

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Úvod  | 11 |
| 1.1   | Účel práce  | 11 |
| 2     | Popis stavu problému  | 12 |
| 2.1   | Vyráběný díl  | 12 |
| 2.2   | Popis linky   | 12 |
| 2.3   | Podavač materiálu   | 13 |
| 2.4   | Lis a raznice   | 13 |
| 2.5   | Formovací část linky  | 14 |
| 2.5.1 | Nastavování spáry mezi válci  | 14 |
| 2.5.2 | Materiál válců  | 15 |
| 2.6   | Odporová bodová svářečka  | 15 |
| 2.7   | Kalibrovací část linky  | 16 |
| 2.8   | Ohýbačka  | 17 |
| 2.8.1 | Kluzné ložisko (jack stand)   | 17 |
| 2.8.2 | Poslední stojan s válci   | 17 |
| 2.8.3 | Ohýbačka (sweep box) pro konvenční díly s konstantním rádiusem      | 17 |
| 2.9   | Sekací hlava  | 17 |
| 2.9.1 | Horizontální versus vertikální                                      | 18 |
| 2.9.2 | Sekací nůž  | 18 |
| 2.10  | Dopravník s odebíracím stolem                                       | 18 |
| 2.11  | Kontrolní přípravek   | 19 |
| 3     | Vysvětlení statistické regulace procesu (SPC)                       | 20 |
| 3.1   | Náhodné a zvláštní příčiny  | 21 |
| 3.1.1 | Zvláštní příčiny  | 21 |
| 3.1.2 | Náhodné příčiny   | 21 |
| 3.2   | Regulace procesu a způsobnost procesu                               | 21 |
| 3.2.1 | Způsobnost procesu  | 22 |
| 3.3   | Gaussova křivka   | 24 |
| 3.4   | Regulační diagramy  | 25 |
| 3.4.1 | Regulační diagramy při kontrole měřením                             | 25 |
| 3.5   | Popis regulačního diagramu typu X - R                               | 26 |
| 3.5.1 | Definice systému měření   | 27 |
| 3.6   | Metoda tvorby regulačních diagramů                                  | 27 |
| 3.6.1 | Výpočtové vzorce používané pro tvorbu regulačních diagramů typu X-R | 28 |
| 3.7   | Indexy způsobnosti procesu [3]                                      | 29 |
| 3.7.1 | Index Cp [3]  | 29 |
| 3.7.2 | Index Cpk [3]   | 29 |
| 4     | Postup implementace SPC   | 31 |
| 4.1   | Výběr parametrů pro regulaci  | 31 |
| 4.1.1 | Šířka nárazníku   | 32 |
| 4.1.2 | Výška nárazníku   | 32 |
| 4.1.3 | Ohyb (sweep) a rozdílnost polohy kontrolních bodů v ose X (twist)   | 32 |
| 4.1.4 | Boční pronutí ( Side sweep)   | 33 |
| 4.1.5 | Délka dílu  | 33 |
| 4.2   | Takt měření   | 33 |
| 4.3   | Pracoviště SPC operátora  | 33 |
| 5     | Úpravy procesu a zlepšovací návrhy                                  | 34 |
| 5.1   | Cyklus neustálého zlepšování  | 34 |
| 5.1.1 | Zlepši (Improve)  | 34 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.1.2 | Standardizace (Standardize) .....                                     | 34 |
| 5.1.3 | Stabilizace (Stabilize).....  | 34 |
| 5.2   | Provedené zlepšování .....  | 35 |
| 5.2.1 | Stabilizace délky nárazníku .....                                     | 35 |
| 5.2.2 | Způsob regulování bočního pronutí nárazníku .....                     | 38 |
| 5.2.3 | Přepočet kontrolních limitů s následným zacentrováním nastavení ..... | 41 |
| 5.3   | Porovnání pozice dvou kontrolních bodů v jednom směru, twist.....     | 42 |
| 5.4   | Udržování konstantního ohybu nárazníku.....                           | 44 |
| 5.4.1 | Nastavení ohybu.....  | 44 |
| 5.4.2 | Výběr vhodných kontrolních bodů pro nastavení ohybu .....             | 45 |
| 5.4.3 | Nastavení prvního kusu po změně projektu.....                         | 46 |
| 5.4.4 | Zacentrování procesu parametru ohybu na nominální hodnotu.....        | 51 |
| 5.4.5 | Napojení materiálu cívky.....   | 52 |
| 5.4.6 | Stabilizace tlaku pístu pro vyrovnání váhy sekací hlavy.....          | 53 |
| 5.5   | Redukování šířky a výšky nárazníku.....                               | 55 |
| 5.5.1 | Výška nárazníku.....  | 56 |
| 5.5.2 | Šířka nárazníku .....   | 56 |
| 6     | Zhodnocení .....  | 57 |
| 7     | Závěr .....   | 59 |
| 8     | Literatura .....  | 60 |
| 9     | Seznam příloh .....   | 61 |

#### Seznam obrázků

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Obrázek 2.1 | Ilustrační díl.....                                       | 12 |
| Obrázek 2.2 | Schéma výrobní linky .....                                | 13 |
| Obrázek 2.3 | Podavač materiálu.....                                    | 13 |
| Obrázek 2.4 | Klikový lis.....  | 13 |
| Obrázek 2.5 | : Průběh formování .....                                  | 14 |
| Obrázek 2.6 | : Svařečka Centerline.....                                | 15 |
| Obrázek 2.7 | : Svařovací můstek.....                                   | 16 |
| Obrázek 2.8 | Přehled tvarů ohnutí.....                                 | 17 |
| Obrázek 3.1 | IPO diagram .....   | 20 |
| Obrázek 3.2 | Proces 1 .....  | 22 |
| Obrázek 3.3 | Proces 2.....   | 23 |
| Obrázek 3.4 | Proces 3.....   | 23 |
| Obrázek 3.5 | Proces 4.....   | 24 |
| Obrázek 3.6 | šest sigma [1].....                                       | 25 |
| Obrázek 3.7 | Příklad regulačního diagramu používaný v Shape corp ..... | 26 |
| Obrázek 3.8 | Variabilita systému [2].....                              | 27 |
| Obrázek 3.9 | : Příklady hodnot ukazatelů Cp,Cpk.....                   | 30 |
| Obrázek 4.1 | .....   | 31 |
| Obrázek 4.2 | [1].....  | 31 |
| Obrázek 4.3 | Pozice měření výšky nárazníku .....                       | 32 |
| Obrázek 4.4 | Pracoviště SPC operátora.....                             | 33 |
| Obrázek 5.1 | - Cyklus neustálého zlepšování [1].....                   | 34 |
| Obrázek 5.2 | Měření délky pomocí kuželové měřky .....                  | 35 |
| Obrázek 5.3 | Data délky ze dne 2.7.2012 .....                          | 35 |
| Obrázek 5.4 | Délka po vizualizaci kontrolních limit.....               | 36 |
| Obrázek 5.5 | zachytávač, původní provedení .....                       | 36 |
| Obrázek 5.6 | - Zachytávač s otěru odolným zubem .....                  | 37 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 5.7 - Zachytávací zuby.....   | 37 |
| Obrázek 5.8 - X-R diagram pro regulaci délky nárazníku.....                     | 38 |
| Obrázek 5.9 - průběh bodu na projektu B299 před implementací SPC .....          | 39 |
| Obrázek 5.10 - Trend parametru boční prohnutí na B299.....                      | 39 |
| Obrázek 5.11 - Měření nastavení Sweep bloku pomocí posuvného měřidla.....       | 40 |
| Obrázek 5.12 - Odměřovací zařízení pro určení polohy ohýbacího bloku.....       | 41 |
| Obrázek 5.13 Graf s průměrnou hodnotou 3 kusů .....                             | 42 |
| Obrázek 5.14 - rozpětí bočního prohnutí.....                                    | 42 |
| Obrázek 5.15 - Ukazatel výkonosti po zacentrování procesu.....                  | 42 |
| Obrázek 5.16 - Rozdílnost kontrolních bodů v řezu dílu .....                    | 43 |
| Obrázek 5.17 Korelace závislosti redukování twistu pomocí ohýbacích bloků ..... | 43 |
| Obrázek 5.18 - IPO diagram pro proces ohýbání.....                              | 44 |
| Obrázek 5.19 - Způsobnost během jedné cívky.....                                | 45 |
| Obrázek 5.20 graf pro průměrnou hodnotu .....                                   | 46 |
| Obrázek 5.21 - Graf pro rozpětí .....   | 46 |
| Obrázek 5.22 Výpočet pravděpodobnosti nastavení jednoho prvku.....              | 47 |
| Obrázek 5.23 Měření výškového nastavení kluzného ložiska.....                   | 48 |
| Obrázek 5.24 - Nastavení přítlaku na ložisku .....                              | 49 |
| Obrázek 5.25 - Nastavovací funkce pro nastavení ohybu .....                     | 52 |
| Obrázek 5.26 Průběh tlaku v pístu v porovnání vůči SPC datům.....               | 53 |
| Obrázek 5.27 Porovnání tlaků před a po implementaci ventilu.....                | 54 |
| Obrázek 5.28 Regulační diagramy pro ohyb nárazníku .....                        | 55 |
| Obrázek 6.1 Výsledky za první čtvrtletí roku 2012 .....                         | 57 |
| Obrázek 6.2 Výsledky za celý rok 2012.....                                      | 57 |
| Obrázek 6.3 Výsledky za uplynulé období roku 2013 .....                         | 57 |
| Obrázek 6.4 Pareto zmetkovitosti před započítáním SPC pro regulaci tvaru.....   | 58 |
| Obrázek 6.5 Pareto po implementaci regulace.....                                | 58 |
| Seznam Tabulek  |    |
| Tabulka 1 .....   | 23 |
| Tabulka 2 .....   | 30 |
| Tabulka 3 - Nastavení pozice kluzného ložiska .....                             | 49 |
| Tabulka 4 - Nastavení přítlaku na ložisku .....                                 | 50 |
| Tabulka 5 - Nastavení posledních válců .....                                    | 51 |
| Tabulka 6 - Nastavení tlaku na vyrovnávacím válci .....                         | 51 |
| Tabulka 7 - Pozice ohýbacích bloků .....  | 52 |
| Tabulka 8 - Celkové výsledky pravděpodobnosti nastavení správného kusu .....    | 52 |

## 1 Úvod

V dnešní době je zisk určován trhem. Podniky jsou neustále nuceny k snižování cen výrobků a dodávání výrobků v nejvyšší kvalitě. V automobilovém průmyslu byla situace před dvaceti lety taková, že konečná cena produktu byla složena podle následující rovnice:

$$N_c + Z_c = C_F$$

Dnes mají automobilky možnost získávat díly z celého světa, cena dílů je tím pádem tlačena dolů a ceny udává finální zákazník. Zvýšení zisků se nedá docílit jejich automatickým navýšením, ale pouze snižováním nákladů na výrobek:

$$C_F - N_c = Z_c$$

$N_c$  ... Celkové náklady výroby

$Z_c$  ... zisk

$C_F$  ... Finální cena

Běžná praxe je, že automobilky mají se svými dodavateli sepsány smlouvy, které je nutí každý rok snižovat ceny přibližně o 3-5%. V případě, že dodavatel toto nedokáže zaručit, je nucen snižovat svůj zisk nebo tím riskuje ztracení kontraktu s daným odběratelem.

Shape corp Czech Republic je dceřiná společnost společnosti Shape corp net, která se zabývá výrobou nárazníků (ilustrační výkres přiložen – Příloha 1) z vysoko-pevnostní oceli. Vyrábí se jak jednotlivé samostatné díly, které jsou dále prodávány odběratelům, tak i celkové sestavy, které jsou dodávány přímo automobilovým podnikům, kde jsou montovány do automobilů.

### 1.1 Účel práce

Výroba dílů je složena z několika operací: z primární operace (profilování) a sekundárních operací, které jsou stříhání, řezání, ohýbání, deformování, svařování atd. Tyto úkony jsou rozdělné projekt od projektu podle požadavků zákazníka. Česká pobočka dostala za úkol od mateřské společnosti, zabývat se zvyšováním stability našeho primárního procesu profilování, než se zde začnou provádět sekundární operace. Sekundární operace pro Shape corp net znamenají největší prostoje a ztrátové náklady, které vznikají nastavováním upínacích fixtur, přeprogramováním svařovacích robotů a laserových center. Nárazníky mají toleranční pole někdy i s rozsahem  $\pm 2,5$ mm na profil, což znamená, že výrobek může být s velkou variací rozměrů kus od kusu, což je problém.

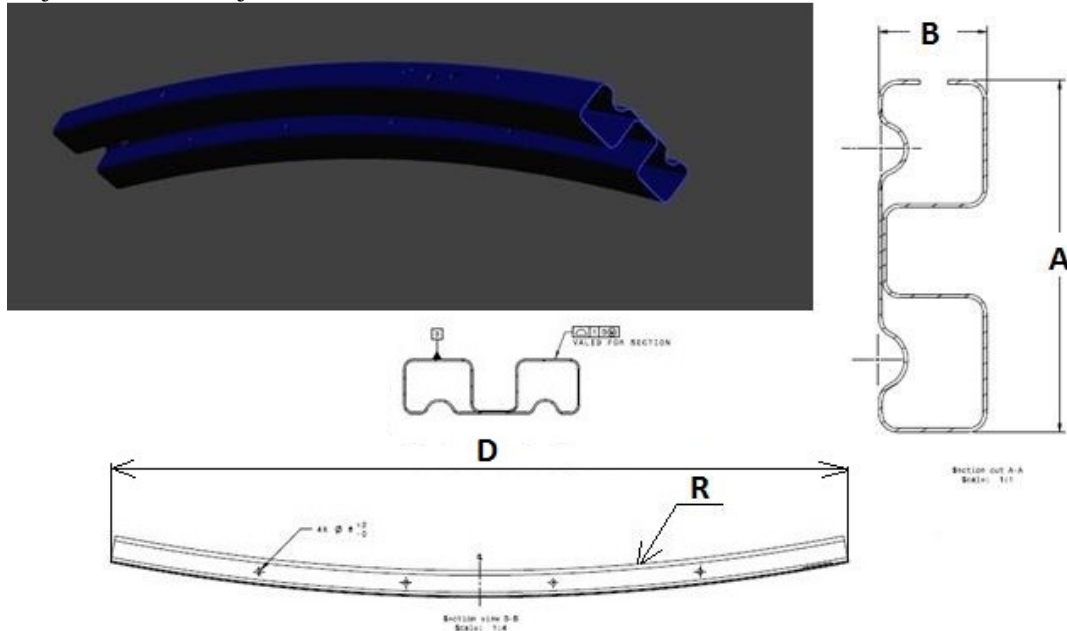
Z důvodu nestability procesu jsme se potýkali i s vysokou zmetkovitostí, která se přibližovala až k 20% v počátcích výroby. S pomocí statistické regulace se dají vyhledávat slabá místa procesu, která mají vliv na rozměry dílu, a snížit jejich dopad, nebo je naprosto eliminovat.

Výsledkem této práce by měla být stabilita procesu výroby tak, aby se nevyráběly zmetky a díly byly ve stejných rozměrech, čímž docílíme snížení nákladů na sekundárních operacích.

## 2 Popis stavu problému

### 2.1 Vyráběný díl

Pro lepší prezentaci problémů je výhodné si na začátku přiblížit vyráběný díl. Aby bylo zřejmé o co vlastně jde.



Obrázek 2.1 Ilustrační díl

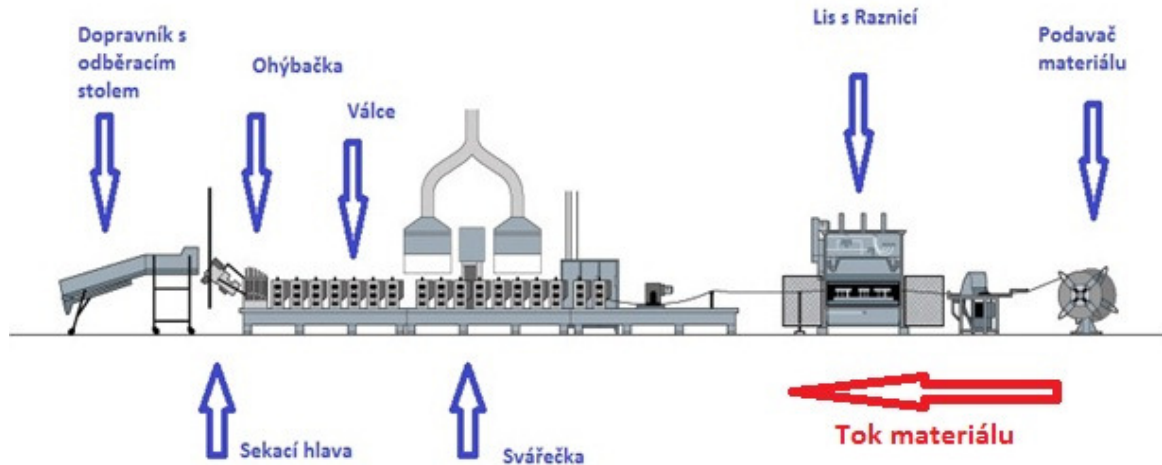
Nárazník samozřejmě musí splňovat kompletně požadavky výkresů, ale nejproblematičtější rozměry jsou na obrázku 2.1 parametricky specifikovány jako rozměr R (rádius nárazníku), A (výška profilu), B (šířka profilu), D (délka nárazníku) a dodržení tolerance profilu. Při následné regulaci se zabírám právě těmito rozměry, kde jsou největší potíže.

### 2.2 Popis linky

Pro lepší pochopení situace ve výrobě je nezbytné popsat jednotlivé části linky, kterými prochází materiál na své cestě od polotovaru k výrobku. Linky (viz Obrázek 2.1), které používáme pro výrobu profilů, se skládají: ze zásobníku materiálu, lisu s raznicí, tvářecích válců, odporové bodové svářečky, ohýbačky a odsekávací hlavy.

Do profilovací linky se jako polotovar používá materiál o různých tloušťkách a šířkách, které jsou nadefinovány zákazníkem. Materiál z vysokopevnostní oceli je stočen do cívek, z kterých se postupně odvíjí do linky.

Tento způsob výroby je velice progresivní, jelikož v jednom stroji provádíme operace děrování, ohýbání, svařování a sekání; takt linky může být až 1 ks za 4 vteřiny. Na druhou stranu je toto odvětví tváření poměrně zastaralé – příkladem jsou společnosti, které vyráběly součásti do automobilového průmyslu touto metodou, měly nízké náklady na výrobu a prakticky žádnou konkurenci; tím pádem byly schopny profitovat i se zastaralým vybavením, s kterým vyráběly hodně zmetků a výroba byla značně nestabilní. Společnost neinvestovala do vývoje na zlepšení postupů a technologií. Ostatní společnosti neztrácely čas a našly kvalitnější postupy nebo již dokázaly zlepšit svoje profilovací linky na mnohem vyšší úroveň.



Obrázek 2.2 Schéma výrobní linky

### 2.3 Podavač materiálu

Zásobník materiálu slouží k dodávání plechu do linky. Materiál se odvíjí z cívky, která váží 5-7 tun. Po dokončení celé cívky se na odvíjecí kolo nasadí cívka nová, její začátek se pomocí svářečky svaří s koncem materiálu předešlé cívky a pokračuje se dále ve výrobě.



Obrázek 2.3 Podavač materiálu

### 2.4 Lis a raznice

Lis v lince využívá klikový mechanismus, kde tvářecí síla je přenášena na beran pomocí elektromotoru přes setrvačnick a kliku. Námí používaný lis dokáže vyvinout tvářecí sílu až 2500 kN. Raznice je tzv. tažná, pohybuje se v lisu na kolejničích ve směru pohybu materiálu. Zpět do výchozí polohy je vrácena vzduchovými písty.



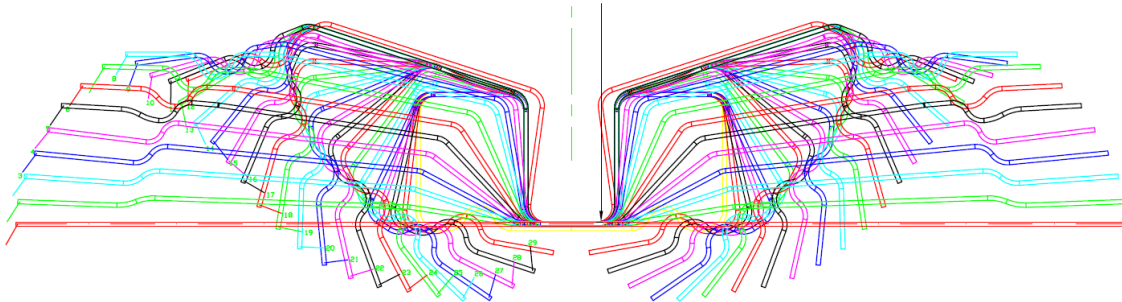
Obrázek 2.4 Klikový lis

Přesné rozmístění stříhů na pásu ve správné vzdálenosti od sebe, je zajištěno pomocí časovače a zachytávacího mechanismu, který zapadne do díry z předešlého úderu lisu, kde zůstává do momentu dalšího úderu, čímž se raznice pohybuje s materiálem. Následně zachytávač vyskočí a raznice se vrátí do výchozí polohy. Celý tento cyklus je řízen pomocí PLC. V tomto místě linky mohou být primární problémy s nastavením správné délky dílu.

## 2.5 Formovací část linky

Tento úsek linky slouží k formování profilu daného nárazníku na finální tvar, který vstupuje do svářečky. Linka v našem případě může maximálně obsahovat 34 stojanů s válci, které jsou umístěny po čtyřech stojanech na výměnném raftu (raft je deska, kde jsou přišroubovány stojany, a slouží k tomu, aby se dala linka rychle přestavět na jiný projekt bez velkých prostojových časů). Každý stojan má na sobě horní a spodní sadu válců. Spodní válec je připojen pomocí zubové spojky a převodovky na hlavní hnací hřídel. Vrchní válec se používá jako přítlačný a není hnáný. Všechny 34 setů válců se používá pro komplikované profily nebo pro profily, kde je použit silnější plech, u kterého je obtížné jeho formování. Stejně tak je obtížné formovatelný materiál, u kterého je vysoké  $Re$ ,  $R_m$  (napětí na mezi pevnosti, napětí na mezi kluzu).

Výhodnější je však naformovat materiál do požadovaného tvaru na nižším počtu válců, jelikož jsou nižší náklady na výrobu nástrojů, údržbu, manipulaci, skladování atd. Na obrázku 2.5 je vidět průběh tvarování plechu v lince stojan od stojanu. Tvarování musí probíhat rovnoměrně, přibližně se stejným úhlem ohybu. V tomto případě je tento úhel dva stupně.



Obrázek 2.5 : Průběh formování

První stojan s válci se nazývá datumové kolo, často označován jako válec 0 a není to válec pracovní. Na tomto válci se nachází raznice, která značkuje nárazníky s označením roku, dne a směny. Toto označování se v automobilovém průmyslu používá pro značení výrobku, aby bylo možno v případě zmetků dohledat, kdy byly vyrobeny a kdo je za daný problém zodpovědný. Všechny tyto válce jsou nasunuty na hřídele, které mají průměr 3 palce, a kroutící moment se přenáší pomocí pera a drážky. Problémem je nastavení osové vzdálenosti válců.

### 2.5.1 Nastavování spáry mezi válci

Spára mezi válci se musí nastavit přesně na tloušťku materiálu tak, aby materiál vyplnil všechna místa a to hlavně v ohybech, kde by mohlo docházet k nedokonalému



ohýbání plechu. Výsledný profil by neodpovídal požadavkům zákazníka. Nastavování této spáry se provádí buď indikátorem nebo spárovými měrkami.

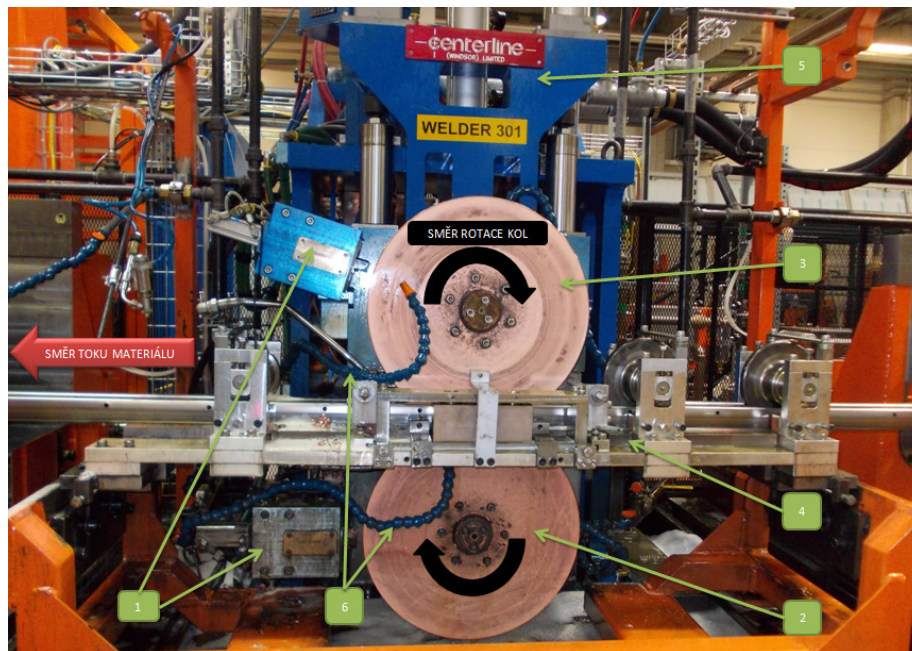
### 2.5.2 Materiál válců

Válce, které používáme, jsou z nástrojové oceli podle AISI - D2; podle české normy ČSN 19 573. Válce se kalí do oleje na tvrdost 60HRC.

## 2.6 Odporová bodová svářečka

Využíváme odporové svařování, kdy se při svařování používá tlak a elektrický proud, bez přídavného materiálu. Využívá se při něm teplo, které vzniká průchodem elektrického proudu svařovaným materiálem.

Při odporovém svařování se nepoužívá přídavný materiál - pouze se roztaví základní materiál v určitém místě a následně opět ztuhne. Při tomto způsobu svařování se používá vysoký proud až 100kA a nižší napětí v rozmezí od 5 do 15V. Proud se přivádí pomocí elektrod (v našem případě svařovacích kol) ze slitin mědi. Svařovací kola jsou při této aplikaci mnohem přijatelnější elektrody z důvodu udržení plynulosti běhu výrobní linky. Pro odporové svařování jsou vhodné nízkouhlíkové oceli. Svářečka, která se používá v našem podniku, se skládá z dvou hlavních částí: z transformátoru připojeného k elektrodám a svařovacího můstku.



Obrázek 2.6 : Svářečka Centerline

Na obrázku 2.6 se nachází svářečka, kterou používáme na našich linkách. Nejpodstatnější díly svářečky jsou očíslovány; na výslednou kvalitu svaru mají největší vliv:

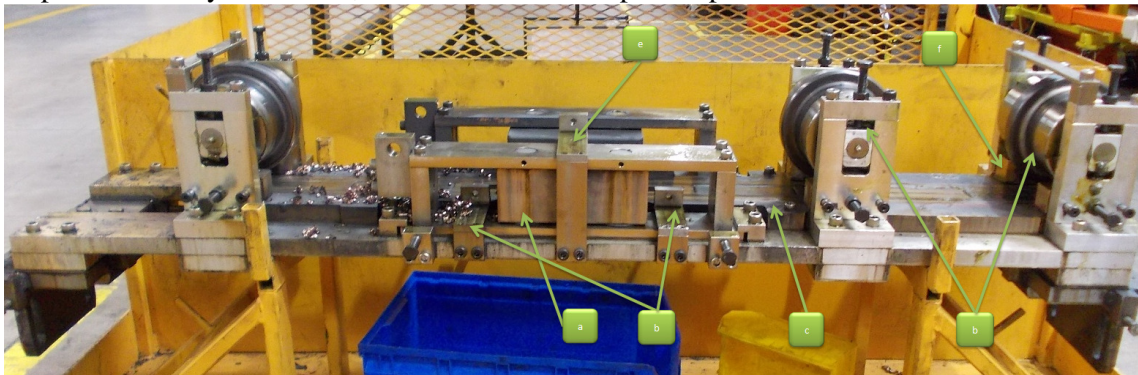
1. *Upravovače svařovacích kol:* Toto zařízení slouží k čištění povrchu kol a odstraňování roztaveného povrchu kol. Upravování obvodu kol funguje na principu soustružení, kdy se za běhu linky ke kolu přitlačí nůž a kolo se ořízne. Dříve se toto přitlačování provádělo identicky jako soustružení na univerzálním soustruhu, kde se nůž přiváděl do řezu pomocí klíček a jen v momentu, kdy se na hotových dílech začaly objevovat vady svaru. Nyní se



- toto upravování provádí automaticky, kontinuálně za běhu linky a po celou dobu výroby. Kola se upravují až na průměr, kde není možno dosáhnout na svařovaný materiál z důvodu omezení velikosti svařovacího můstku.
2. *Svařovací kolo horní*: svařovací kola se vyrábějí z chromzirkonové slitiny bronzu (1% chromu, 0,1% zirkonu a 98,75% mědi). Kolo má výchozí průměr 460 mm a šířku 12 mm. Kola jsou nasazena na hřídele, kde jsou zajištěny podložkami ze stejného materiálu, skrz ně je přiváděn elektrický proud do místa sváření. Přívod elektřiny je nekontinuální, nastaven s časováním podle toho, jaký má být rozestup svarů a jejich velikost.
  3. *Svařovací kolo spodní*: je naprosto totožné jako vrchní svařovací kolo, jen s rozdílem, že může být použito delší dobu. Jelikož zde není tolik omezujících elementů, kolo se může upravit na menší rozměr než horní kolo.
  4. *Hlava*: Toto zařízení slouží pro držení horního svařovacího kola a k vyvíjení tlaku na materiál v místě svaru. Tlak je vyvozován pomocí pneumatického pístu, který dokáže vyvinout tlak až 6 barů. Po některých technických úpravách by bylo možno dosáhnout tlaku ještě vyššího.
  5. *Přívod chladící kapaliny*: Kapalina se přivádí do místa svaru, aby byla tepelně ovlivněná co nejmenší oblast základního materiálu a aby se zabránilo přehřívání svařovacích kol. Přivádí se z obou stran materiálu; to znamená k místu styku kol se svařovaným materiálem.
  6. *Svařovací můstek*: Slouží k vedení materiálu ve správné pozici před svařením. Můstek má vlastní vedení, které slouží k rychlé výměně při přestavbě linky. Základní deska stolu je z magneticky měkké slitiny, aby nedocházelo k odvádění svařovacího proudu do jiných částí linky.

Můstek se skládá z několika částí, viz Obrázek 2.7:

- a – přitlačný bronzový blok, který slouží pro dotlačení konců plechu k sobě před svařováním
- b – měřicí zařízení pro odměřování polohy profilu ve svářečce
- c – kluzná deska, po které jede materiál skrz můstek - jedná se o materiál AMPCO 25, což je bronzová slitina, která je odolná vůči otěru a zadrhávání
- d – naváděcí válce, které drží profil v konstantním tvaru ve svářečce
- e – měřicí zařízení, skrz které se nastavuje vzájemná pozice svařovacího kola a můstku, což znamená nastavování polohy nárazníku a svářecího kola
- f – přitlačné bloky ve válcích, které slouží k držení profilu před svařením



Obrázek 2.7 : Svařovací můstek

## 2.7 Kalibrovací část linky

Tato část linky slouží k finálnímu dorovnání všech stran profilu po svařování. Většinou se tyto válce používají k tzv. OVERBENDING, což znamená zpřehýbání stran a

přemáhání zbytkového napětí, které může mít za následek deformaci profilu, a tím pádem nedodržení požadavků zákazníka.

Kalibrovací část linky se většinou skládá ze sedmi sad válců, ale snažíme se, aby byl tento počet co nejmenší z důvodu úspory nákladů. Počet těchto válců ve většině případů záleží na druhu tvarovaného materiálu a na jeho napětí na mezi pevnosti.

## 2.8 Ohýbačka

Ohýbačka v našem procesu slouží k vytváření finálního rádiusu nárazníku (kóta R v obrázku 2.1). Nárazník se dá válcovat rovný, s konstantním ohnutím, s proměnným ohnutím ve 2D, ale také s proměnným ohnutím ve 3D. Ohýbání způsobuje největší potíže pro udržení požadovaných rozměrů.



Obrázek 2.8 Přehled tvarů ohnutí

V našem závodě v současnosti vyrábíme nárazníky pouze s konstantním ohybem - s rádiusy o poloměrech od 1750 mm do 3000 mm. Pro formování tohoto finálního rádiusu se používá: kluzné ložisko (které se nazývá „jack stand“), poslední sada válců a sweep box (ohýbačka). V ohýbačce dochází k největšímu počtu potíží, jelikož se zde vytváří finální tvar celého dílu.

### 2.8.1 Kluzné ložisko (jack stand)

Používá se před posledním stojanem s válci, jelikož právě zde se začíná tvořit ohyb nárazníku. Bez použití tohoto výškově nastavitelného kluzného ložiska by se materiál ohýbal již mezi válci z důvodu čárového styku materiálu a válců. Výsledný rádius by byl velice nestálý a obtížně by se nastavoval.

### 2.8.2 Poslední stojan s válci

Tvar tohoto válce je totožný s tvarem výstupního profilu. Jeho výškové nastavení je naprosto rozhodující při snaze o reprodukování výrobků o stejných rozměrech.

### 2.8.3 Ohýbačka (sweep box) pro konvenční díly s konstantním rádiusem

Slouží k nastavování finálního rádiusu. Profil nárazníku je již kompletně vytvořen a ohyb se vytváří pomocí nadzvedávání ohýbacích bloků. Ty jsou upevněny v ohýbačce (sweep box) pomocí lichoběžníkových závitových tyčí. Podle výškové úrovně bloků se nastavuje rádius daného nárazníku.

## 2.9 Sekací hlava

Účelem sekací hlavy je odsekávat jeden kus od druhého. Sekací hlavy se dělí podle několika hledisek. Prvním hlediskem je rozdělení podle druhu seku - respektive stříhu, na

základě vzniku odstřížku, se střížným odpadem (with slug) nebo bez odstřížku (slugless). Jejich použití je dáno druhem profilu; u otevřených sekcí se používá hlava, ve které je stříh bez odstřížků; u dílů s uzavřeným profilem se používá hlava, kde při seku bohužel vzniká neužitečný odpad.

Další dělení je dle umístění; *stacionární hlava* je umístěna na zemi a její pohyb je po kolejnicích, které jsou nastavitelné podle radiusu dílu. *Pohyblivé hlavy* jsou zavěšeny na jeřábu nad linkou pomocí pístu, který vyrovnává jejich váhu na nulovou hodnotu, aby hlava neovlivňovala svojí vahou ohyb nárazníku. Pohyblivé hlavy jsou výhodné z důvodu, že mohou plynule běžat po materiálu a nedochází k zasekávání profilu v místě seku.

Dále se budu věnovat hlavně těmto hlavám, kde je nejpodstatnějším dělením směr pohybu nože - směr horizontální a vertikální. Obě tyto hlavy mají sekací otvory umístěny tak, aby nedocházelo k deformacím profilu v místech, kde nárazník nemá podporu od svíracího zařízení, které sevře profil pro okamžik seku a následně se opět otevře, aby materiál mohl volně procházet. Hlavy vnáší do rozměrů dílu také značnou porci variability.

## 2.9.1 Horizontální versus vertikální

### 2.9.1.1 Vertikální sekací hlava

Nůž vstupuje do materiálu z boku pod úhlem  $5^\circ$  vždy z vnitřní strany linky. Tato hlava se používá především u dílů, které mají velký radius ohybu. Nedostatkem této hlavy je nedostatečná rychlost cyklu, velká hmotnost, nevyváženost k ose profilu a vysoké nároky na navádění nože do materiálu. Velkou výhodou je velký volný prostor pro průchod materiálu skrz hlavu, kdy do chvíle sevření čelistí se hlava nedotýká dílu.

### 2.9.1.2 Horizontální sekací hlava

Hlava se používá častěji z důvodu vyváženosti na osu profilu – tím pádem neovlivňuje tvar výrobků. Vedení nože nemusí být tak přesné, jelikož gravitační síla působí ve směru pohybu nože a nezpůsobuje zapříčení nože v hlavě. Pohyb nástroje je rychlejší a jednoznačně méně problematictější než u vertikální hlavy. Nevýhodou je těsnější prostor pro průchod materiálu skrz hlavu a z tohoto důvodu zde dochází k zasekávání dílu.

## 2.9.2 Sekací nůž

Nože jsou vyráběny z nástrojové rychlořezné oceli ČSN 19830 a jsou zakaleny na hodnotu 62-64 HRC. Tvar nože je specifický podle tvaru profilu výrobku a na směru prvotního pohybu nože. Životnost nožů závisí hlavně na druhu sekaného materiálu; pohybuje se od 1000 cyklů až po 3000 cyklů. Jeho odolnost proti porušení se značně zvyšuje zajištěním chlazení nástroje. V současné době se snažíme přejít ke kvalitnějším nástrojovým materiálům, které mají obdobné složení jako nástrojové oceli, ale jsou vyráběné technologií práškové metalurgie, což zapříčiní rovnoměrné rozložení karbidů v základní matici materiálu.

## 2.10 Dopravník s odebíracím stolem

Linka je ukončena dopravníkem s odebíracím stolem, kde operátor odebírá hotové výrobky a provádí jejich kontrolu před vkládáním do kontejneru. Kontrola se provádí dvěma způsoby současně: vizuálně a dotykově. Kontroluje se délka nárazníku a poloha svaru. Komplexní kontrola nárazníku se provádí vždy na konci kontejneru v dávce tří kusů. Výrobek se upne do měřicího zařízení a proměří se kontrolní body, pozice děr, délka a všechny zákaznické specifikace.

## 2.11 Kontrolní přípravek

Měřicí přípravek slouží pro komplexní kontrolu výrobku. Kontrolou se zjišťuje tvar součásti, vhodnost pozice děr a jejich velikost. V našem procesu slouží pro kontrolní výstup. Tolerance těchto kontrolních zařízení je stanovena normou ISO2768. Kontrolní přesnost těchto přípravků bývá v praxi  $\pm 0,1\text{mm}$  na osu díry. Využíváme přípravky dvou typů, neautomatizovaný a automatizovaný.

**Automatizovaný** přípravek má napevno nainstalované digitální úchylkoměry pro proměňování tvaru dílu. Jeho velká výhoda je rychlost měření, která je až dvakrát vyšší než na neautomatizovaném. Indikátory jsou rozmístěny trvale v kontrolních SPC bodech. Nevýhoda těchto měřidel spočívá ve velice častém opotřebení doteku a ohnutí dřívku. Také cena je značně vyšší, jelikož se používá vysoký počet úchylkoměrů a také je zapotřebí počítačová stanice pro vyhodnocování měření, která je na pevno propojena s měřidly.

**Neautomatizovaný** přípravek je obdobný jako automatizovaný až s tím rozdílem, že se používá pouze jeden úchylkoměr. Ten se postupně přesouvá do jednotlivých nábojů, které úchylkoměr nasměrují do správných míst, kde má probíhat měření. Výhodou tohoto přípravku je nižší cena. Velká nevýhoda je pomalý způsob měření.

### 3 Vysvětlení statistické regulace procesu (SPC)

Někdo by se mohl domnívat že pomocí SPC (statistical process control) se hledají zmetky. To však není úplně pravda; pomocí tohoto nástroje by mělo být možno reagovat ještě před tím než zmetky začnou vystupovat z výroby. Je to aktivní nástroj pro řízení procesu. Tím pádem by jsme měli dokázat výrobu nárazníků pod kontrolu.

Statistická regulace procesu může být také popsána jako zpětná vazba z celého systému. Procesem je myšlena kombinace faktorů, které ovlivňují finální výrobek.

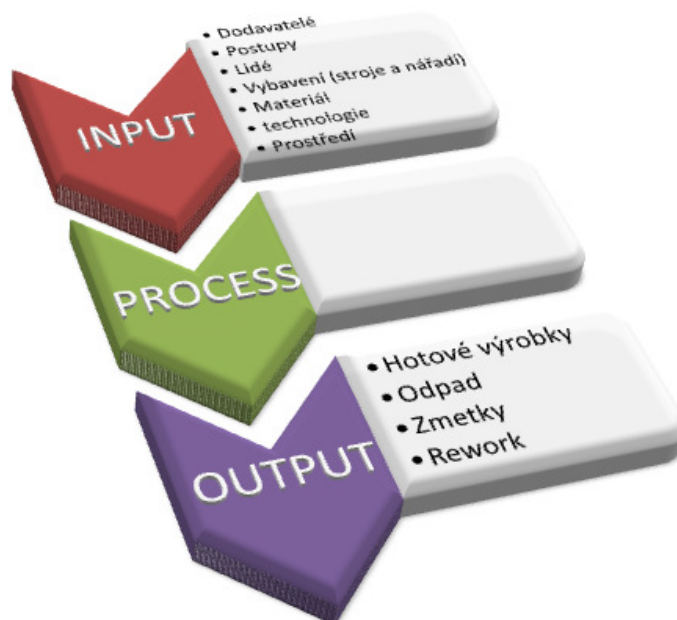
Tyto faktory se dají shrnout v IPO diagramu (Obrázek 3.1) následovně:

1) input (= směs dodavatelů, postupů, lidí, vybavení, vstupního materiálu, technologií, okolního prostředí atd). Tímto IPO diagramem se dají jednoduše popsat všechny procesy a dokonce i jejich části.

2) proces - Nejvíce informací o procesu se dá získat porozuměním daného procesu a jeho vnitřní variabilitě v určitých místech. Na základě zjištěných údajů se dá provádět cyklus neustálého zlepšování a zlepšit dané úseky.

3) výstup - Výstupem by měl být stabilní proces, při kterém jsme schopni udržet výrobky v požadovaném tolerančním poli. Tolerance hotového výrobku jsou kontrolovány dle požadavků zákazníka.

Na základě pravidelné kontroly výstupu musíme být schopni určit zásadní změny vstupu do procesu (input) a jeho stabilitu v návaznosti na vstupu. Všechny prováděné změny v procesu musí být sledovány! Dále se analyzují vhodnou metodou pro ověření správnosti výsledků.



Obrázek 3.1 IPO diagram

### 3.1 Náhodné a zvláštní příčiny

Při poznávání a stabilizaci procesu je velice podstatné rozlišit dva druhy příčin variability. Tyto příčiny se nazývají **náhodné příčiny** (common causes) a **zvláštní příčiny** (special causes); detailněji jsou popsány v dalších částech (jejich zobrazení a detekce příčin v regulačních grafech).

#### 3.1.1 Zvláštní příčiny

Zvláštní příčiny se dají nazvat také jako vymezené příčiny. Vyskytují se nahodile, nepravidelně a způsobují výrazné vychylování procesu. Z tohoto důvodu jsou velice nevyzpytatelné a představují značné nebezpečí. Jestliže jsou přítomny v procesu, proces je nestabilní.

Zvláštní příčiny mohou být jednak ztrátové, ale také i prospěšné. V případě, že tato příčina zaručí stabilnější proces (tím i více kapabilní), je zapotřebí tuto příčinu detekovat a uvést jí trvale v současném procesu. V případě, že příčina uvede proces do stavu nestabilního, je zapotřebí provést opatření, která zamezí opakování této chyby.

Nejčastější příklady těchto nestabilit jsou uvedeny níže:

- Skryté vady materiálu
- Selhání pracovníka
- Špatné seřízení stroje
- Změny nástrojů
- Poškození stroje
- Skryté vady stroje
- Konstrukční vady stroje
- Opomenuté nastavení
- Nedostatečné vyškolení operátora

To byl jen krátký výčet nejčastějších příčin.

#### 3.1.2 Náhodné příčiny

Náhodné příčiny jsou součástí každého výrobního procesu a převažují nad zvláštními příčinami. Je však zapotřebí si uvědomit, že žádná z těchto příčin není nijak výraznější než jiná; často působí proti sobě a navzájem se eliminují, ale mohou se také podporovat.

Některé se dají rozpoznat, ale o některých ani nemusíme vědět. Efekt těchto příčin by měl být stálý v čase a opakovat se. Nejčastější příklady těchto příčin jsou:

- Vliv okolního prostředí
- Teplota
- Stroj
- Vstupní materiál
- Výrobní nepřesnosti stroje (vůle)

Postupem času a vyřešením zvláštních příčin, se z náhodných příčin mohou také stát zvláštní příčiny. Ty nemusely být evidentní od začátku, ale postupem času se v grafech začnou zobrazovat viditelněji a viditelněji.

### 3.2 Regulace procesu a působnost procesu

Proces, ve kterém se vyskytují pouze příčiny náhodné, se dá nazvat procesem *ve statisticky zvládnutelném stavu*. Jednou z nejdůležitějších úloh statistické regulace je vydat

signál v momentě, kdy se v systému objeví zvláštní příčina, tak aby se na jejím základě dala provést detekce problému a jeho řešení. Na druhou stranu napomáhá držet lidský faktor dále od zbytečného nastavování procesu v momentech, kdy detekujeme jen náhodné příčiny a toto nastavení bude pouze na škodu tím, že se odchýlí proces od svého meridiánu.

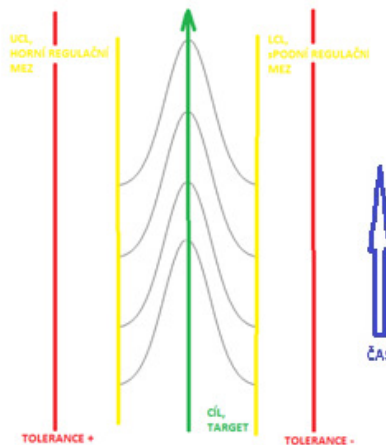
### 3.2.1 Způsobnost procesu

Způsobností procesu velice často nazýváme také nejlepší možný výkon stroje. Způsobnost je určena kolísáním, která vyvolávají pouze náhodné příčiny. Odběratele většinou nezajímá kolísání procesu, ale zaměřuje se na jeho výkonnost a do jaké míry plní zákaznické požadavky. Jestliže je proces ve statisticky zvládnutém stavu, poté je zapotřebí ho nastavit na střed tolerančního pole. Jestliže se zde nachází vliv jiného prvku (jiný rozměr), tak toleranční pole nastavujeme tak, aby všechny prvky vyhovovaly daným požadavkům. Prvním krokem je odstranit všechny vymezitelné (zvláštní) příčiny a tím pádem dostat proces do statisticky zvládnutelného stavu. Následně je proces v předvídatelném stavu a může být odhadnuta jeho způsobnost a vývoj. Procesy je možno rozdělit do čtyř skupin, viz Tabulka 1.

|            | Statistická regulace |                            |                              |
|------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
|            |                      | Statisticky zvládnutý stav | Statisticky nezvládnutý stav |
| Způsobnost | Přijatelná           | <i>Proces 1</i>            | <i>Proces 3</i>              |
|            | Nepřijatelná         | <i>Proces 2</i>            | <i>Proces 4</i>              |

Tabulka 1

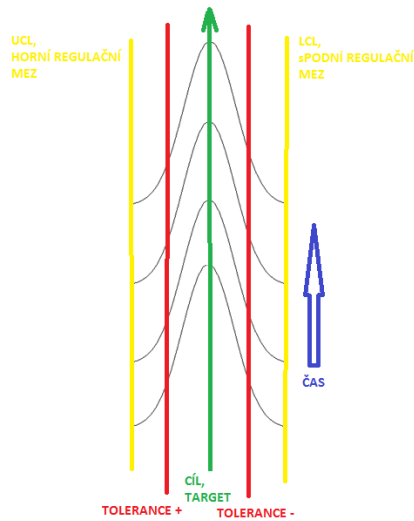
- *Proces 1* : Nastává pokud se v procesu nevyskytují zvláštní příčiny a rozptyl všech měřených hodnot spadá do tolerančního pole daného měření, Obrázek 3.2.



Obrázek 3.2 Proces 1

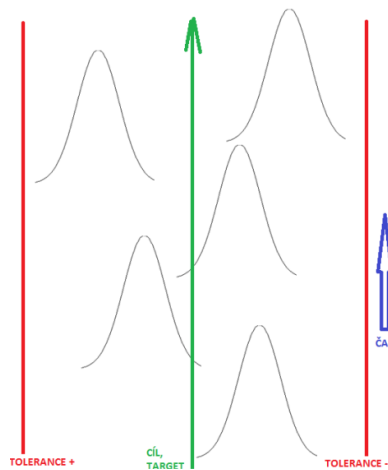
- *Proces 2* : Nastává v situaci, kdy je proces statisticky zvládnutý, ale neplní zákaznické požadavky v plné míře. To znamená, že se výrobky odchylují od odběratelova požadavku v určitém procentuálním poměru. Z tohoto důvodu se musí eliminovat tyto náhodné příčiny nebo se musí vyjednat změna tolerančního pole se zákazníkem, viz Obrázek 3.3.





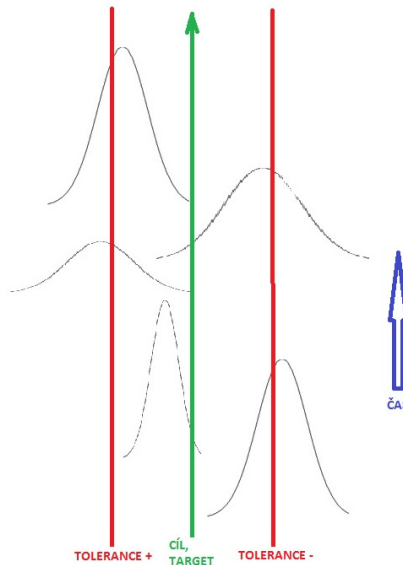
Obrázek 3.3 Proces 2

- *Proces 3* : Na výrobní proces působí zvláštní příčiny, které ale nevyvádí proces ze zákaznických tolerancí. Přesto musí být vylimínovány, jelikož způsobují zmatek ve výrobě a v regulaci procesu, Obrázek 3.4.



Obrázek 3.4 Proces 3

- *Proces 4* : V tomto případě se ve výrobě vyskytují jak příčiny náhodné, tak i zvláštní - proces je nevládnutý, Obrázek 3.5.



Obrázek 3.5 Proces 4

### 3.3 Gaussova křivka

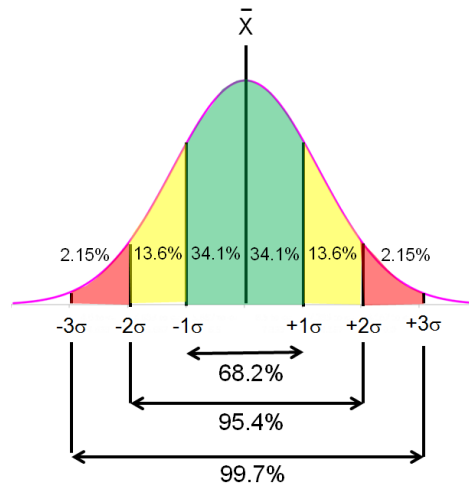
V obrázcích výše se objevuje Gaussova křivka, která znázorňuje krátkodobý průběh výroby a s kterou se dá popsat náhodný proces s normálním rozdělením. Jestliže popíšeme proces pomocí této křivky, zjistíme pravděpodobnostní rozložení dat. Plocha pod křivkou je vždy rovna jedné a dělí se do šesti pruhů, které mají šířku směrodatné odchylky (Standard deviation neboli také  $\sigma$ ), pruhy jsou stejně široké. Tato směrodatná odchylka se vypočte na základě matematického vzorce, který je níže.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$\bar{x}$  = průměrná hodnota ze vzorků

$N$  = počet vzorků

Minimální doporučený počet vzorků je 30, ale může být vyšší. Jestliže zakreslíme těchto šest sigma do Gaussovy křivky: na každou stranu od průměrné hodnoty  $3\sigma$ , vyplníme plochu pod křivkou z 99,73%. To znamená, že 99,73% spadne pod tuto křivku. Jestliže zakreslíme do křivky na každou stranu od průměru  $2\sigma$ , bude pod tuto hodnotu spadat 95,4% vzorků. Jestliže zakreslíme do křivky  $\pm 1\sigma$ , spadá do vymezené plochy na 68,2% vzorků; viz obrázek 3.6.



Obrázek 3.6 šest sigma [1]

Jestliže je křivka symetrická, po přepočtu hodnoty  $\sigma$  zůstane procentuální rozložení vždy stejné. Touto křivkou se dají popisovat jak krátkodobé výrobní úseky, tak také dlouhodobé výrobní dávky, ale i celá výroba.

### 3.4 Regulační diagramy

Walter Shewhart při svých studiích dat vyvinul regulační diagramy, které se ukázaly jako velice silný nástroj pro detekci zvláštních příčin variability. Musíme ale upozornit, že regulační diagramy nejsou jediným nástrojem pro zjišťování těchto příčin. V úvahu můžeme brát dva základní druhy regulačních diagramů - jeden pro kvantitativní data a druhý pro kvalitativní data.

Rozhodnutí, který diagram je pro který druh procesu, záleží na samotném druhu procesu a na druhu výstupních dat. Jestliže jsou data kvalitativního charakteru, výstup je pouze OK / NOK a použijí se diagramy pro kvalitativní znaky. Jestliže jsou výstupní data měřitelná a mají spojitý charakter (délka, hmotnost, tvrdost, kroutící moment atd.) použijí se diagramy pro kvantitativní znaky.

V momentě, kdy je možno si vybrat, je vždy lepší vybrat diagram kvantitativní, jelikož vždy přinášejí větší množství výstupních informací z procesu.

#### 3.4.1 Regulační diagramy při kontrole měřením

Tyto diagramy jsou přínosné, jelikož informace je KVANTITATIVNÍ a ne jen vyhovuje (OK) /nevyhovuje (NOK).

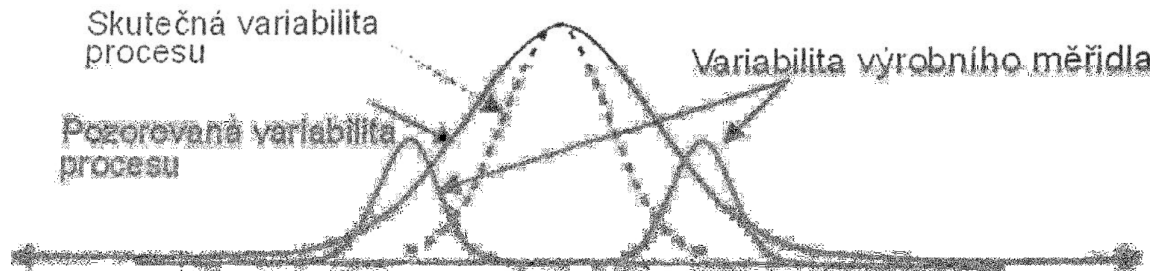
*Kvantitativní:* Dobré vysvětlení tohoto výrazu nepřímou na příkladu. Pro kontrolovanou hřídel je na výkrese požadován průměr  $30 \pm 0,05$  mm a naměřená hodnota je  $\varnothing 30,1$  mm, z čehož vyplývá, že nevyhovuje, protože je rozměr větší, ale opravitelný. Sběr dat může být poněkud zdoluhavý a nákladný; záleží na měřícím zařízení. Výstupní data nám mohou přinést mnohem lepší obraz o vývoji procesu. Důležitý přínos je, že výkonnost procesu se dá vyhodnocovat a má přínos i v případě, že naměřené hodnoty jsou uvnitř kontrolních limitů. Nejčastěji používané regulační diagramy jsou :

- Pro průměr a rozpětí ( $\bar{X} - R$ )
- Pro výběrový medián a výběrové rozpětí ( $Me - R$ )
- Individuální hodnota a rozpětí ( $I - MR$ )
- Pro průměr a směrodatnou odchylku ( $\bar{X} - \sigma$ )



### 3.5.1 Definice systému měření

Variabilita procesu se skládá ze samostatné variability procesu a variability měřicího systému, Obrázek 3.8.



Obrázek 3.8 Variabilita systému [2]

#### 3.5.1.1 Variabilita měřicího procesu [2]

Velkou pozornost je nutné věnovat měřicímu zařízení. Měřicí systém vnáší sám o sobě velkou variabilitu do procesu a může se také stát, že bude snižovat přínos celého systému, a to tím, že bude zakrývat variabilitu procesu. Před aplikací regulačních diagramů je zapotřebí minimalizovat zdroje kolísání měřicího procesu na co nejnižší hodnotu. Při správné validaci měřicího systému je zapotřebí položit si základní tři otázky:

##### 1. Citlivost systému

Měřicí přístroj musí být v souladu s odpovídajícím prahem citlivosti, který je určen dispozičním návrhem a slouží jako výchozí bod pro volbu systému měření. Pro toto určení se nejčastěji používá „pravidlo deseti“, které dokáže rozdělit toleranční pole na minimálně deset částí. Účelem této metody je stanovit výchozí bod pro volbu měřidla. Měřicí zařízení musí mít efektivní citlivost ke zjišťování variabilit procesu.

##### 2. Stabilita měřicího systému

Pro měření musí být zajištěna opakovatelnost a stálost měřicího systému (Měření vždy ve stejném místě součásti; vymezení chyby, které by vznikly špatným umístěním měřidla atd.)

##### 3. Statistické chyby

Chyby můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin a to:

- *Chyba polohy*: Tato chyba se definuje pomocí analýzy strannosti a linearity. Obecně platí, že chyba strannosti a linearity systému měření je nepřijatelná, pokud převyšuje maximální uvedenou chybu nebo je významně vzdálená od nuly.
- *Chyba šíře*: Rozhodnutí, zda je variabilita systému měření vyhovující, závisí na podílu variability měření a na podílu variability procesu.

### 3.6 Metoda tvorby regulačních diagramů

Při tvorbě regulačního diagramu necháme proces volně běžet v taktu, který jsme si zvolili, začneme brát náměry logických podskupin pro výpočet kontrolních limit. Logická podskupina je skupina vzorků, která má zamezit kolísání vyvolané náhodnými příčinami

projevujících se v podskupině, ale zároveň dostatečně zvýraznit kolísání meze podskupinami zapříčiněnými zvláštními příčinami.

Pro nápomoc se vybírá velikost podskupin tak, aby kolísání mezi podskupinami bylo přibližně stejně velké jako kolísání mezi vzorky v podskupině. Kolísání uvnitř podskupiny představuje kolísání od jednoho vzorku ke druhému a má odrážet změny v procesu. Pro UCL, LCL (horní kontrolní limita, dolní kontrolní limita) je nutný určitý počet podskupin. Tento počet taktů musí zaručovat, že se projeví přibližně všechny možnosti náhodných i zvláštních příčin kolísání. Platí, že podskupin by mělo být více než 25, a celkem by zde mělo být zaneseno kolem 100 vzorků.

### 3.6.1 Výpočtové vzorce používané pro tvorbu regulačních diagramů typu X-R

Jsou přehledně uvedeny vzorce, které se následně používají v praktické části v regulačních diagramech pro výpočty kontrolních limitů..

Průměr podskupiny (Average of subgroups) : 
$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$
  
n.....Počet měřených vzorků v podskupině  
x<sub>i</sub>..... Hodnoty vzorků

Rozpětí podskupiny (Range): 
$$R = x_{max} - x_{min}$$
  
x<sub>max</sub> = maximální hodnota z podskupiny vzorků  
x<sub>min</sub> = minimální hodnota z podskupiny vzorků

Celkový průměr (Average): 
$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}$$
  
k.....počet podskupin

Průměrné rozpětí (Average range): 
$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$
  
k.....počet podskupin

Centrální přímka: 
$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}}$$
  
$$CL_{\bar{R}} = \bar{R}$$

Regulační meze: 
$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \times \bar{R}$$
  
$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \times \bar{R}$$
  
$$UCL_R = D_4 \times \bar{R}$$
  
$$LCL_R = D_3 \times \bar{R}$$

V Tabulce 2 jsou hodnoty konstant, které se používají pro podskupiny o různých počtech vzorků(n); tyto konstanty se připočítávají k výpočtům regulačních mezí.

| n     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_2$ | 1.88  | 1.023 | 0,729 | 0.577 | 0.483 | 0.419 | 0.373 | 0.337 | 0.308 |
| $D_4$ | 3.267 | 2.574 | 2.282 | 2.114 | 2.004 | 1.924 | 1.864 | 1.816 | 1.777 |
| $D_3$ | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.076 | 0.136 | 0.184 | 0.223 |
| $d_2$ | 1.128 | 1.693 | 2.059 | 2.326 | 2.534 | 2.704 | 2.847 | 2.970 | 3.078 |

Tabulka 2

Konstanta  $A_2$  reprezentuje součinitel u průměrného výběrového rozpětí při výpočtu regulačních mezí pro průměry. Součinitele  $D_3, D_4$  se používají pro výpočet regulačních mezí pro výběrové rozpětí. Konstanta  $d_2$  se používá jako dělitel výběrového rozpětí pro odhad směrodatné odchylky procesu.

### 3.7 Indexy způsobilosti procesu [3]

V oboru „process improvement“ (tzn. zlepšování procesu), je Index způsobilosti procesu (též Koeficient způsobilosti procesu) statistický parametr určující způsobilost procesu; tj. schopnost procesu dodávat výstup v rámci tolerovaného rozmezí hodnot a specifikovaného technického standardu. Koncept procesní způsobilosti má smysl pouze pro procesy, které jsou v režimu statistického řízení. Indexy jsou užitečné pro poukázání na zlepšení procesu, které bylo provedeno.

#### 3.7.1 Index Cp [3]

Udává schopnost procesu vytvářet požadovaný výstup, pokud by byl vycentrován, viz Obrázek 3.9. Předpokládá se normální rozdělení výstupu. [3]

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

*USL – horní mezní rozměr ( Upper specification limit)*

*LSL – dolní mezní rozměr ( Lower specification limit)*

*$\sigma$  – Směrodatná odchylka ( Standard deviation)*

Výpočet směrodatné odchylky je uveden v kapitole 3.3.

#### 3.7.2 Index Cpk [3]

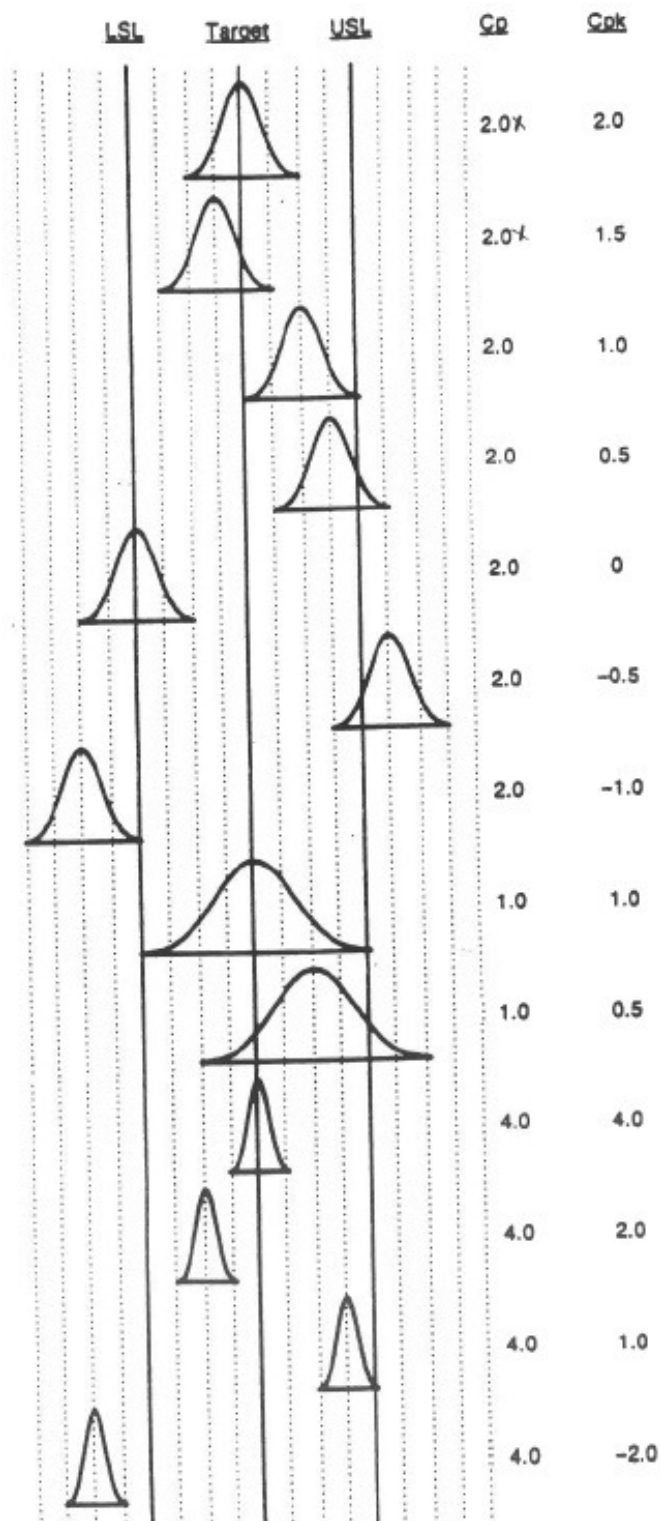
Tento index znamená odhad schopnosti procesu vytvářet požadovaný výstup, pokud je cíl ve středu specifikovaných limitů, viz Obrázek 3.9. Pokud není střední hodnota uprostřed,  $C_p$  nadhodnocuje procesní schopnost.  $C_{pk} < 0$  v případě, že střední hodnota se ocitne mimo specifikované limity. Předpokládá se normální rozdělení výstupu. [3]

$$C_{pk} = \text{nižší hodnota z těchto vzorců} \left[ \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \right], \left[ \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right]$$

$\bar{X}$  – Celkový průměr

Tento ukazatel v podstatě popisuje vzdálenost rozptylu výrobků od mezních rozměrů, Obrázek 3.8.



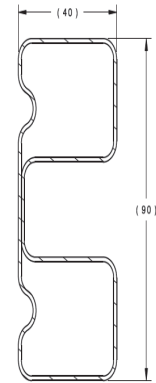


Obrázek 3.9 : Příklady hodnot ukazatelů Cp,Cpk

Každá tato Gaussova křivka reprezentuje výsledky, zacentrovanost procesu a jeho míru stability.

## 4 Postup implementace SPC

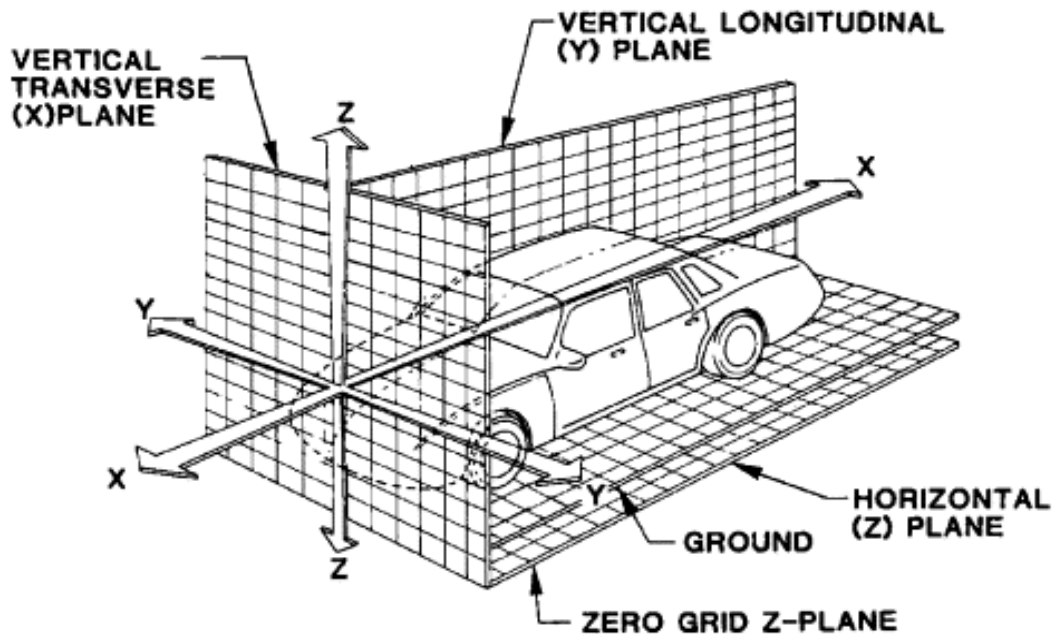
Jak již vyplývá z popisu zadaného problému je zapotřebí implementovat zásady statistické regulace na lince s označením ROLL MILL 01. Tato linka je první, která byla dovezena z Ameriky do závodu. Linka je standardní velikosti s deseti rafty (rafty jsou základní desky, na kterých jsou přimontovány stojany s válci) s hřídeli o průměru 3 palce. Daná linka je určena pro projekt Ford B299, Ford B232 a Toyota 130A front bumper. Všechny projekty jsou tzv. B profil, Obrázek 4.1.



Obrázek 4.1

### 4.1 Výběr parametrů pro regulaci

Základem bylo sestavení regulačních diagramů pro rozměry, kde jsou největší potíže z dlouhodobého hlediska, a také pro místa, podle kterých nastavujeme výšku, šířku, ohyb nárazníku, tak aby byl konstantní po celé délce nárazníku. Tyto parametry se pravidelně opakují u všech projektů jen s nepatrnými úpravami měřících zařízení. Nárazník má kontrolní body uprostřed a na koncích (podle nichž nastavuje rádius a twist - zkroucení). Twist se nejzřetelněji projevuje na konci nárazníku, kde dochází k rozevírání, které je způsobeno samotným směrem postupu materiálu skrz linku. Pro jednodušší orientaci při měření rozměrů v automobilovém průmyslu je zaveden standardní souřadnicový systém, viz Obrázek 4.2.



Obrázek 4.2 [1]

#### 4.1.1 Šířka nárazníku

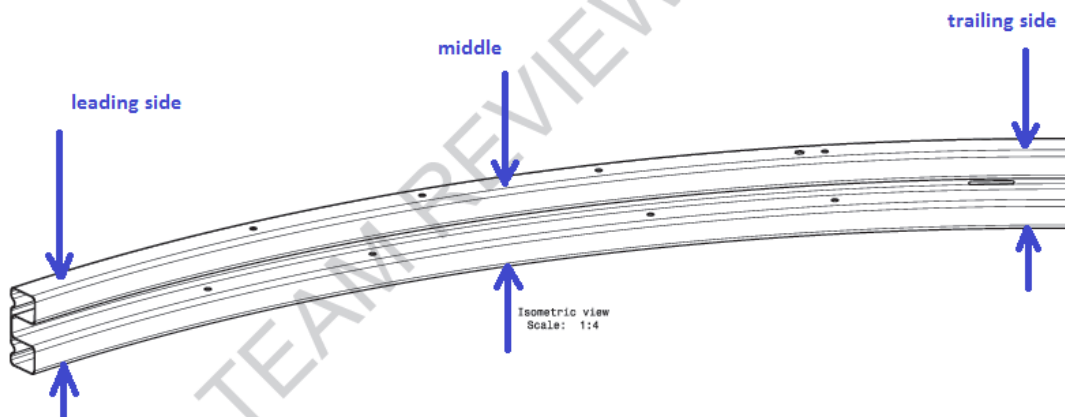
Šířkou nárazníku se rozumí rozměr, který je v Obrázku 4.1 okótován rozměrem 40mm – samozřejmě tento rozměr je pokaždé jiný, záleží na zákaznickém výkrese; platí tedy pravidlo: každý druh profilu má jinou šířku a výšku. Každý profil má vlastní velikost s vlastním tolerančním polem. Tento rozměr by měl vycházet s nominální hodnotou již z linky, ale ve většině případů se při ohýbání zdeformuje (otevře) a je zapotřebí ho regulovat pomocí zařízení, které se nazývá resizer a slouží k úpravě profilu po ohýbání.

Jako měřicí zařízení se používá posuvné měřidlo. Jsou sestaveny dva regulační diagramy; pro každou polovinu jeden a měření probíhá uprostřed nárazníku. Měřená hodnota se nachází ve směru osy X podle výše uvedeného souřadného systému.

#### 4.1.2 Výška nárazníku

Výška nárazníku je rozměr, který je v dokumentaci popisován kótou, která v Obrázku 4.1 má rozměr 90mm. Opět každý profil má svůj vlastní rozměr; rozměr z Obrázku 4.1 je pouze ilustrační. Pro měření se opět používá posuvné měřidlo.

Tento rozměr je poněkud komplikovanější než předešlý, jelikož se mění v průběhu procesu výroby nárazníku. Z tohoto důvodu je zapotřebí mít sestaveny minimálně tři regulační diagramy a měření jejich rozměrů vychází z jednoho konce přes prostředek k druhému konci nárazníku, jak je znázorněno na Obrázku 4.3.



Obrázek 4.3 Pozice měření výšky nárazníku

#### 4.1.3 Ohyb (sweep) a rozdílnost polohy kontrolních bodů v ose X (twist)

Ohyb dílu je měřen pomocí měřicího přípravku, který slouží ke komplexnímu proměření celého dílu, jak je popsáno v kapitole 2.9. Pro regulování ohybu se nejvýhodněji použijí kontrolní body, které se nacházejí v prostřední části nárazníku v ose nad sebou - opět záleží na situaci s daným profilem; v některých případech se nedá řídit jen prostředními body, jelikož jsou netečné, nebo se na nich ohyb nárazníku neprojeví tak výrazně z důvodu materiálového složení nebo tuhosti daného profilu.

Jak bylo zmíněno výše, proměřují se dva kontrolní body ležící nad sebou. Jejich rozdílnou polohou v ose X vzniká tzv. twist, který se výrazně projevuje na konci nárazníku. Z toho plyne, že je zapotřebí mít jeden regulační diagram pro proměřování jednoho bodu na konci dílu.

#### 4.1.4 Boční prohnutí ( Side sweep)

Měří se také v kontrolním přípravku pomocí bodu uprostřed nárazníku. Tento dotkový bod je buď na nejnižší nebo na nejvyšší ploše profilu v ose Z. Je zde použito stejné měřicí zařízení jako u měření ohybu.

#### 4.1.5 Délka dílu

Tento rozměr se původně kontroloval pouze pomocí kalibrů metodou PROJDE/NEPROJE (GO / NO GO). Pro tento způsob kontroly dílu by se dal použít regulační diagram pro srovnání – nevýhodou ale je, že neukáže vývoj hodnoty v průběhu času. Z tohoto důvodu byla změněna metoda zjišťování odchylky pomocí tzv. kuželovou měrkou. Měření probíhá na každé straně nárazníku, v kontrolním přípravku => používají se dva regulační diagramy.

### 4.2 Takt měření

Data se musí sbírat pravidelně, tak aby měření jednotlivých diagramů byla zvládnutelná a aby vždy probíhala na těch samých časových intervalech. To platí pro pravidelný sběr dat v průběhu výroby.

Pro nastavování a zaměřování procesu jsem sestavil instrukci, jak postupovat v těchto případech, a co by se mělo zapisovat. Instrukce je přiložena k práci.

### 4.3 Pracoviště SPC operátora

Jelikož se sběr dat provádí papírovou formou a na každém díle je regulováno přibližně devět parametrů, bylo zapotřebí najmout jednoho operátora pro každou směnu pouze na sběr dat a na základě těchto dat pro rychlé logické vyhodnocení, zda se hodnoty pohybují v kontrolních limitech (pokud se naměřené body nepohybují v limitech, je nutný zásah do procesu).

Úloha SPC operátora je rozhodovat, kdy se budou vyrábět kusy v požadované interní kvalitě, nebo kdy se nebude vyrábět a bude se linka přenastavovat z důvodu navrácení se do kontrolních limitů. Z grafů je patrné, co zapříčinilo vychýlení procesu z požadované kvality, jelikož se do grafů zaznamenávají všechny informace o všech nastavení které se prováděly. Operátorovo pracoviště se nachází na konci linky u odebíracího stolu (runoff table), tak aby mohl pohodlně odebírat kusy v průběhu výroby, využít měřicího zařízení a zapsat data do grafů.

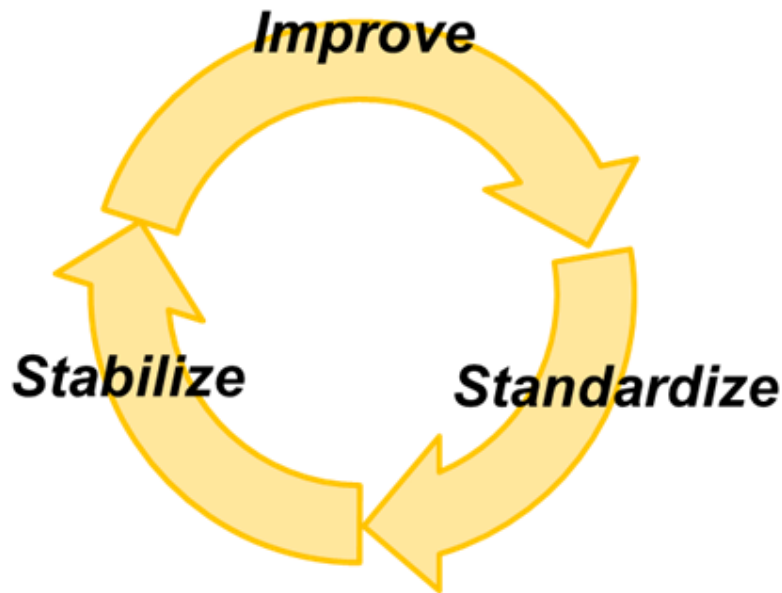
Tabule s grafy je umístěna hned vedle linky, aby každý mohl okamžitě vidět průběh výroby a věděl, co se dělo po celou dobu směny (tzn. i po celou dobu výroby).



Obrázek 4.4 Pracoviště SPC operátora

## 5 Úpravy procesu a zlepšovací návrhy

Postup zlepšování výroby se snažíme řídit jednoduchým postupem - cyklem neustálého zlepšování, který je založen na krocích: zlepši, standardizuj a stabilizuj – jak je znázorněno na Obrázku 5.1, tento cyklus nikdy nekončí.



Obrázek 5.1 - Cyklus neustálého zlepšování [1]

### 5.1 Cyklus neustálého zlepšování

Toto je obecné vysvětlení jak funguje cyklus neustálého zlepšování v praxi.

#### 5.1.1 Zlepši (Improve)

V tomto kroku se na základě sesbíraných dat z procesu specifikuje potenciální problém a místo, kde se vyskytuje speciální příčina, a jak se projevuje. Na základě dat se sestaví experiment nebo se vyvine prototypový kus, který se naimplementuje do procesu, a sledují se výstupní data. Na základě těchto dat se ověří, že daná věc má přidanou hodnotu a zlepšuje výsledky procesu.

#### 5.1.2 Standardizace (Standardize)

Tento pojem se dá popsat jako používání nejlepší možné varianty, postupu nebo nějakého stavu v daný okamžik. Standardizace poukazuje na technickou vyspělost firmy. Všichni by se měli řídit příslovím: „Jen to nejlepší je to správné“ a to by měl být standard.

#### 5.1.3 Stabilizace (Stabilize)

Stabilizací se rozumí udělat z daného postupu nebo stavu srozumitelný postup nebo stav známý pro všechny uživatele, jak už pro operátory, tak pro jejich nadřízené a všechny ostatní zdroje, které mají co do činění s danou věcí.

## 5.2 Provedené zlepšování

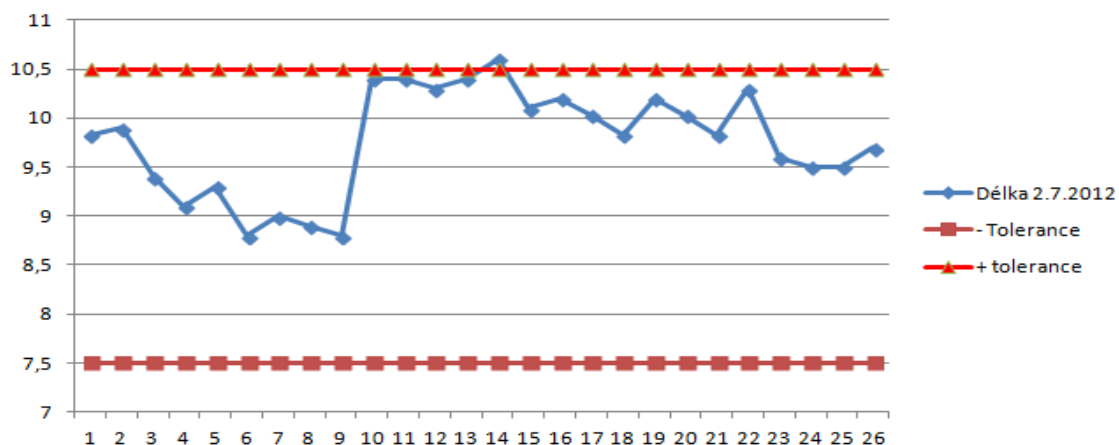
### 5.2.1 Stabilizace délky nárazníku

Postup sestavení regulačních diagramů byl popsán v kapitole 4.1.5. Po začátku implementace měření délky bylo zřetelné, že stačilo nastavit díl tak, aby vyhovoval požadavkům kalibru v měřícím přípravku. Takto ale mohl být proces nastaven na základě jednoho kusu, který byl na kraji tolerančního pole a při frekvenci kontroly jednoho kusu z kontejneru, kde se nachází 179ks, nemohl být zákazník dostatečně ochráněn. Což se také bohužel stalo: Při 100%-ní kontrole jedné výrobní dávky v rámci této diplomové práce se našlo přes 700 neshodných dílů z celkové dávky 30 000 vyrobených dílů. Z tohoto důvodu se přešlo k měření délky pomocí kuželové měřky, viz Obrázek 5.2.



Obrázek 5.2 Měření délky pomocí kuželové měřky

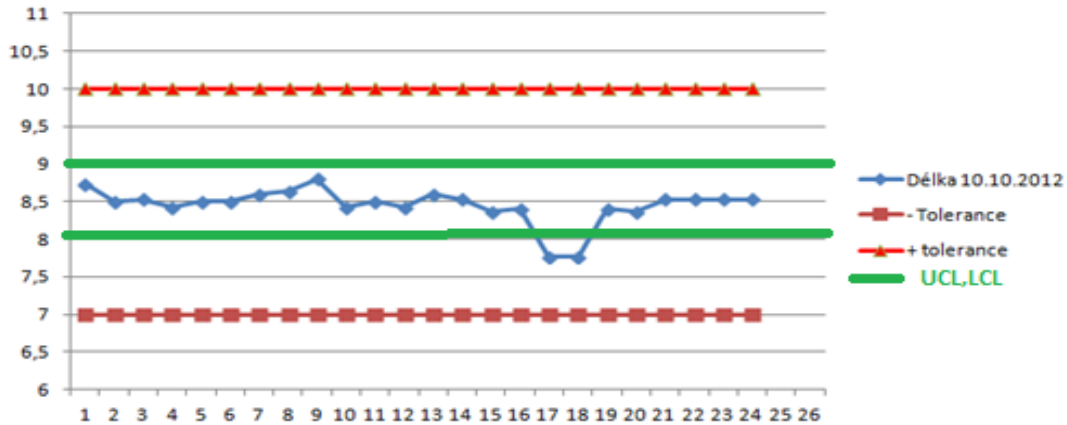
Při prvním měření bylo získáno rozložení měřených bodů, které je možné vidět v Obrázku 5.3. Ukazatel  $C_p$  vyšel 0,93 a  $C_{pk}$  0,45 - což je značně nevyhovující výsledek s vysokou mírou nestability a nevycentrovanosti procesu.



Obrázek 5.3 Data délky ze dne 2.7.2012

Po výpočtu kontrolních limit a „zacentrování“ procesu, se délka značně stabilizovala na přijatelnou míru. Ukazatele stability vycházeli  $P_p= 2,12$  a  $P_{pk} 2,06$ . Minimalizovali se také nastavovací časy, viz Obrázek 5.4.

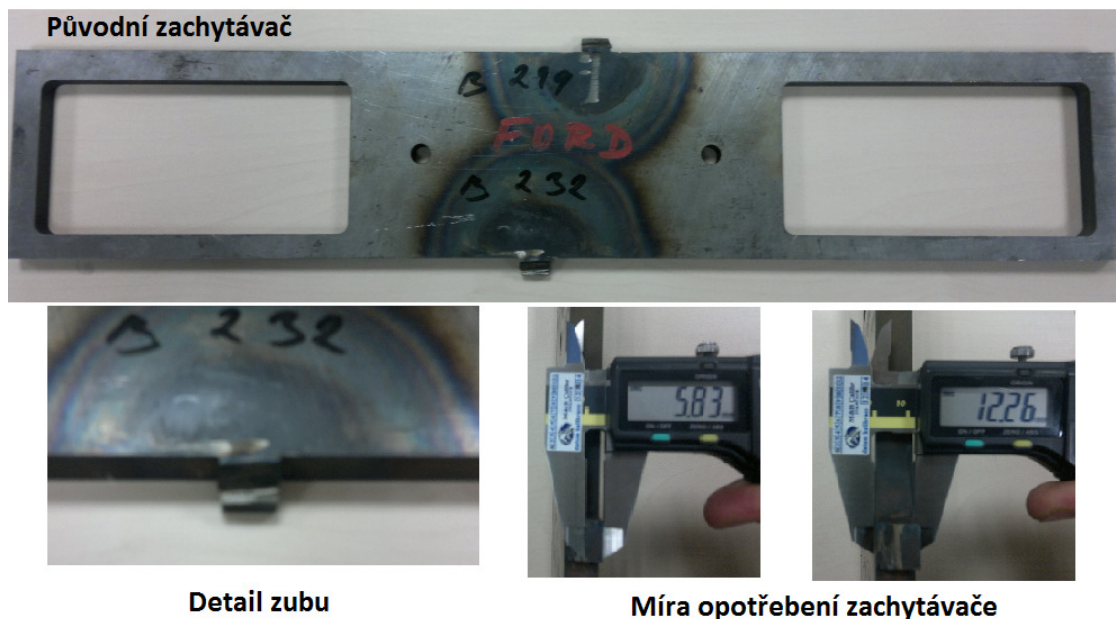




**Obrázek 5.4 Délka po vizualizaci kontrolních limit**

Stále se v tomto měřeném parametru vyskytují zvláštní příčiny. Na Obrázku 5.4 je názorně zachycena nejpodstatnější a nejčastěji se opakující příčina body 17,18, které jsou tzv. mimo kontrolu. Body mimo kontrolní limity zapříčiňují další variabilitu, která vzešla z nepatrné změny ohybu po změně cívky materiálu.

Data na výše uvedeném obrázku jsou získaná z jedné směny. V průběhu delšího časového období se délka nárazníku opět začala měnit v závislosti na opotřebením zachytávacího mechanismu, který určuje vzdálenost mezi jednotlivými prostřihy děr. Zub, viz Obrázek 5.5, se opotřebil přibližně o polovinu svého rozměru po 10 000 ks, což znamenalo neustálé nastavování ze strany operátorů, a tím pádem více prostoru pro chybu a možnost vyrábět zmetky z důvodu špatného nastavení.



**Detail zubu**

**Míra opotřebení zachytávače**

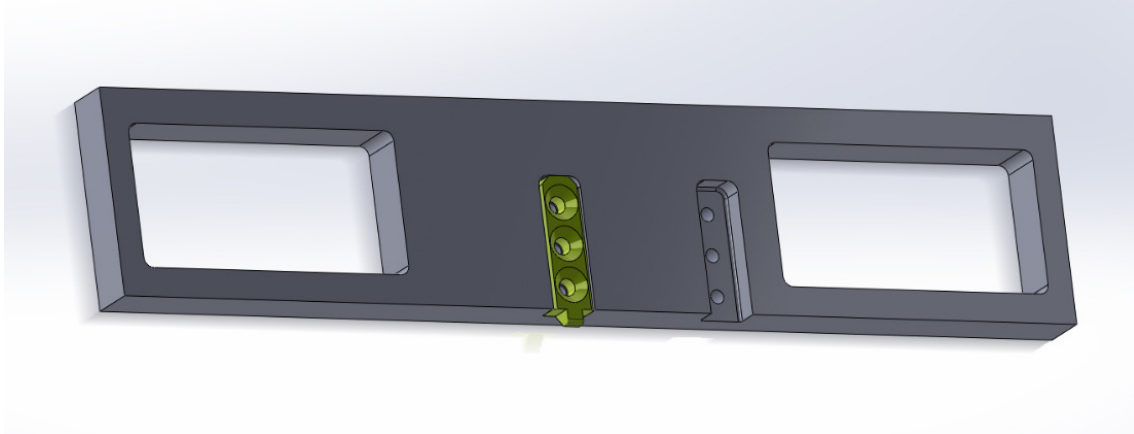
**Obrázek 5.5 zachytávač, původní provedení**

Začal jsem tedy pracovat na způsobu, jak by bylo možno toto opotřebení minimalizovat nebo mu naprosto zamezit. V úvahu přicházela kompletní změna technického řešení nebo změna materiálu zachytávacího mechanismu. Nakonec se ukázalo jako rozumné částe využít obě možnosti.

Jelikož zde bylo zapotřebí předělat systém zachytávače tak, aby výroba nebyla nákladná a v místě, kde se součást nejvíce opotřebovává, bylo zajištěno použití otěru



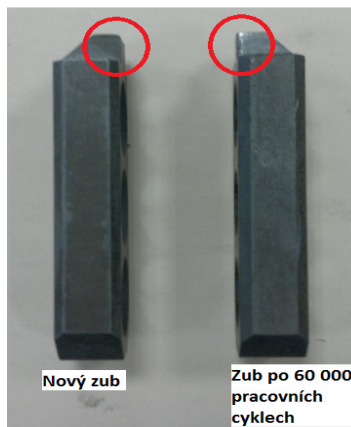
odolného materiálu. Původní materiál byl pouze ocel ČSN12050 zakalená na 30 HRC. Zařízení bylo konstruováno tak, aby vedle sebe mohly být dva zachytávače a v případě změny projektu se jen aktuální deska zamknula a do provozu se uvedla ta druhá. Toto řešení zachytávače bylo navrženo z důvodu úspory času, ale prakticky se nepoužívá, jelikož je následně komplikované nastavit délku dílu. Tak byl získán prostor pro umístění robustnějšího zachytávače, kam se dá vložit zub z tvrdého a otěru odolného materiálu, viz Obrázek 5.6.



**Obrázek 5.6 - Zachytávač s otěru odolným zubem**

Toto řešení se osvědčilo prováděnou pravidelnou kontrolou zubů, kde byl nastaven takt kontroly zubu po každé směně. Neustále se snižoval, až na hodnotu taktu výměny zubu po 100 000 kusech, kdy opotřebení zubu bývá v řádu 0,1-0,2 mm.

V Obrázku 5.7 je vidět zub z rychlořezné nástrojové oceli ČSN 19830 - 60HRC. Zub vpravo je po výrobním cyklu 60 000 kusů a je zde patrné pouze lehké povrchové opotřebení, které neznamena žádný problém, jelikož je jen v řádu setin milimetrů. Pro porovnání je vedle něj vlevo nový zub.

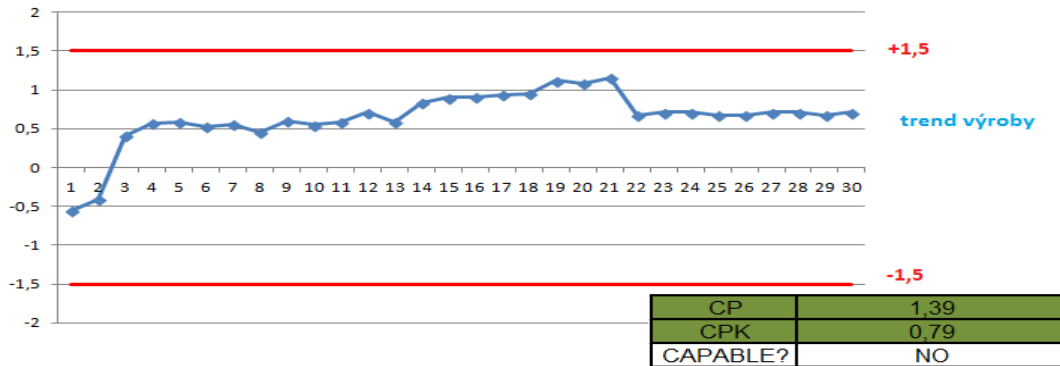


**Obrázek 5.7 - Zachytávací zuby**

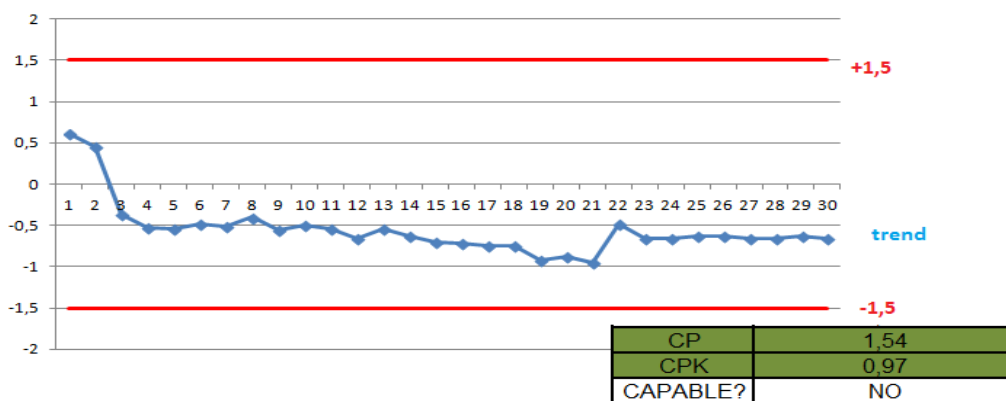
Následně po aplikaci tohoto zlepšení se délka stabilizovala na vysokou míru preciznosti (Obrázek 5.8) tak zásadně, že bylo zapotřebí přepočítat kontrolní limity z důvodu viditelné zvláštní příčiny. Všechny body byly příliš těsně distribuovány okolo nominální hodnoty v průměrovém grafu a v grafu pro rozpětí byly všechny body distribuovány na jedné straně od průměrné hodnoty rozpětí. S výjimkou bodů 23 a 24, kde probíhala výměna cívky, která vždy zanese určitý stupeň variability do procesu. Tato variabilita procesu je krátkodobá a následně se vrátí do kontrolních limitů po nastavení ohybu nárazníku zpět do vlastních limitů.

Pro body 1 - 22 dosahují ukazatele výkonnosti velmi vysokých hodnot  $C_p=8,91$  a  $C_{pk}= 8,79$ . Distribuční rozložení procesu můžeme porovnat s Obrázkem 5.8. Z čehož





Obrázek 5.9 - průběh bodu na projektu B299 před implementací SPC



Obrázek 5.10 - Trend parametru boční prohnutí na B299

Na základě těchto dat je jasné, že operátor potřebuje jasně specifikovanou pozici pro nastavení ohýbacího bloku vůči linii nástrojů. Toto nastavení bylo vždy prováděno pouze odhadem bez toho, aby byl nastaven standard nebo metoda, která by se měla používat pro toto nastavování.

Je zapotřebí se zmínit, že se snažíme na lince používat co nejnižší počet měřidel, aby výroba byla jednoduchá a nenákladná na měřidla. Návrhy, jaká měřidla při výrobě použít, jsou popsány níže.

### 5.2.2.1 Varianta A – použití posuvného měřidla

Z počátku se jevila jako přirozené a dobré řešení možnost používat posuvné měřítko, jelikož každý je po zaškolení schopen s tímto měřidlem pracovat. Stačilo by proměřovat vzdálenost mezi ohýbacím blokem a tzv. sweep boxem.

Po zahájení vývoje se ale ukázalo, že tento způsob kontroli pozice bloku je nevhodný z důvodu špatného přístupu do místa a z pravděpodobné nejednoty ve způsobu měření. Každý operátor by měřil v jiné poloze a dosahoval by jiných hodnot měření.



Obrázek 5.11 - Měření nastavení Sweep bloku pomocí posuvného měřidla

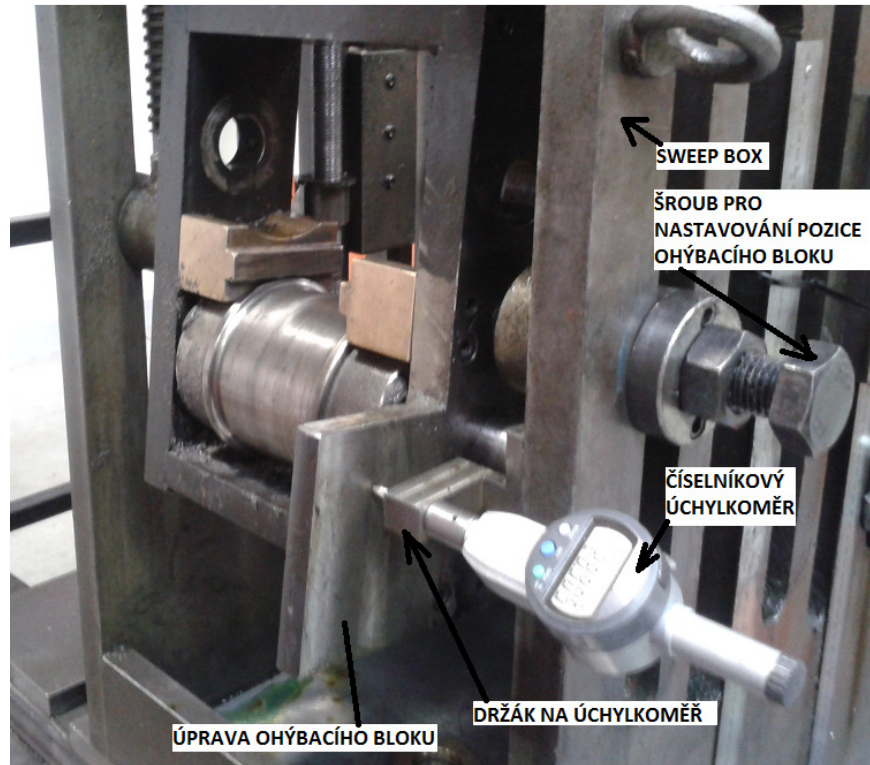
Z Obrázku 5.11 je patrné, že toto řešení není vhodné. Toto měření pozice ohýbacího bloku bylo vyzkoušeno s pěti operátory a každý z nich naměřil naprosto rozdílné hodnoty.

### 5.2.2.2 Varianta B – Číselníkový úchylkoměr

Pro nastavování vyrovnání svařovacího mostu používáme číselníkový úchylkoměr od firmy Mitutoyo s měřícím rozsahem 0 – 50,8mm (což je dostatečně velký rozsah pro pokrytí všech možných nastavení, která se provádějí s daným ohýbacím blokem).

Pro správné použití číselníkového úchylkoměru je zapotřebí mít pevné stanoviště, do kterého se jen umístí úchylkoměr, a dá se odečíst nastavená hodnota. Dalším problémem bylo, že je úchylkoměr sám o sobě značně rozměrný a nedá se nikde vložit do sweep boxu. Tím pádem bylo za potřebí provést technickou úpravu ohýbacího bloku tak, aby jeho část vycházela ven ze sweep boxu, viz Obrázek 5.12.





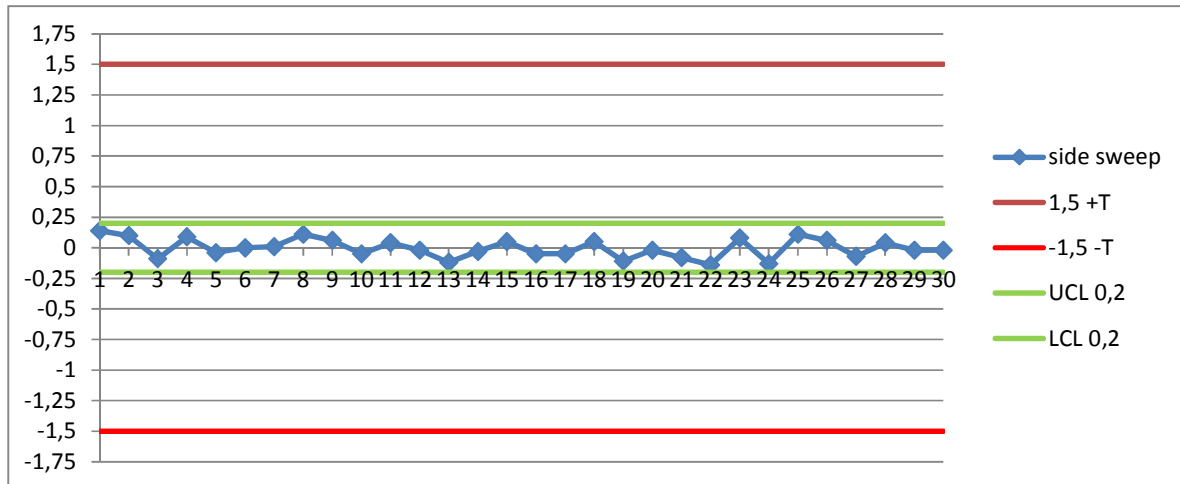
Obrázek 5.12 - Odměřovací zařízení pro určení polohy ohýbacího bloku

S tímto jednoduchým zařízením jsme spustili výrobu a začali nastavovat boční prohnutí a proměřovat jednotlivé kusy, aby se v měřicím přípravku jejich rozměr blížil co nejvíce nule. V momentě, kdy jsem získal hodnotu nastavení, jsme byli schopni odečíst hodnoty z úchylkoměru. Odečtené hodnoty jsme již následně jen reprodukovali pro další nastavení po změně projektu.

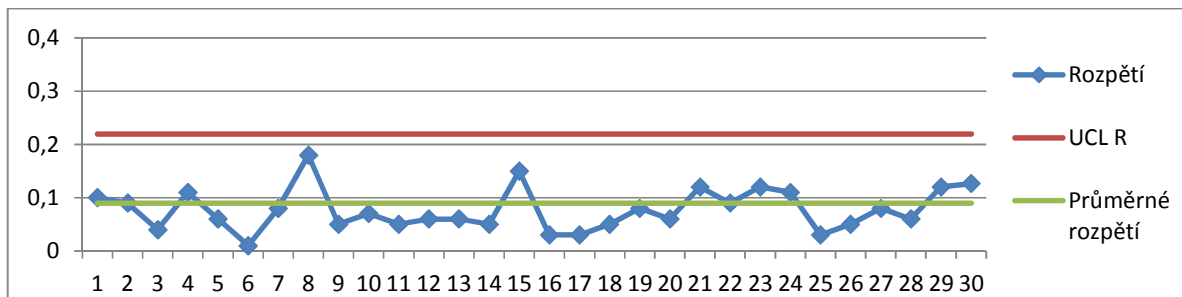
### 5.2.3 Přepočítání kontrolních limitů s následným zacentrováním nastavení

Kontrolní limity byly vypočítány na základě kusů proměřených ve výše uvedených grafech. Z grafů jsem zjistil, že nastavení je opakovatelné. Po nastavení tohoto rozměru jsem byl schopen držet boční prohnutí pod kontrolou přibližně po 15 000 kusů. Po tomto množství se naměřená hodnota začne pohybovat v jednom nebo druhém směru s konstantním krokem, který signalizuje, že bronzové vodící bloky jsou opotřebené a je zapotřebí přenastavit polohu bloku v jednom nebo druhém směru.

Po dokončení výroby je nutné vždy provést pravidelnou údržbu a opotřebené bloky přerovnat a vypořadit tak, aby byla zajištěna opakovatelnost pro další výrobní cyklus. V příloženém grafu 5.13 je vidět, jak se vyvíjely uchytky na výrobcích po zacentrování procesu na začátku výroby.



Obrázek 5.13 Graf s průměrnou hodnotou 3 kusů



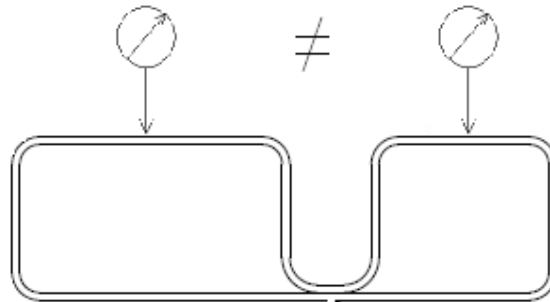
Obrázek 5.14 - rozpětí bočního prohnutí

|          |      |
|----------|------|
| CP       | 4,68 |
| CPK      | 3,71 |
| CAPABLE? | YES  |

Obrázek 5.15 - Ukazatel výkonnosti po zacentrování procesu

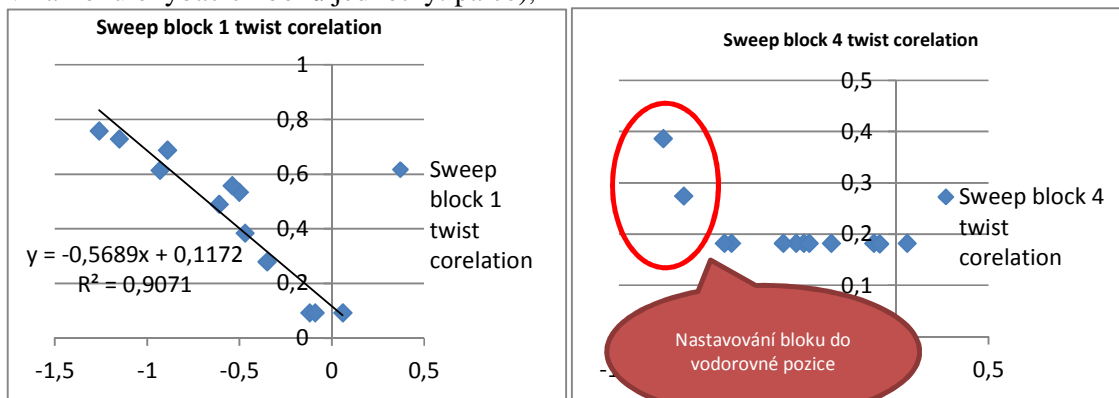
### 5.3 Porovnání pozice dvou kontrolních bodů v jednom směru, twist

Z regulačních diagramů pro ohyb nárazníku bylo zjištěno, že kontrolní body, které jsou v jedné rovině v kontrolním přípravku, jsou velice často zatíženy rozdílností naměřených hodnot vůči sobě, i když jejich naměřená hodnota má být stejná. To je dobře patrné z regulačních diagramů pro dva kontrolní body nad sebou kdekoli na nárazníku, jestliže se jejich body vloží do jednoho grafu.



Obrázek 5.16 - Rozdílnost kontrolních bodů v řezu dílu

Z grafů je patno že se body pohybují během výroby stejným směrem i se stejným rozptylem, ale ne se stejnými výsledky. Tento inkrement může způsobovat značné problémy, jelikož například mezi body uprostřed nárazníku je rozdíl 0,5mm na konci dílu může být tento rozdíl mnohem výraznější až v řádu milimetrů. A jelikož svařování na sekundárních pracovištích probíhá u konců nárazníku, je nezbytné, dostat tento prvek pod kontrolu a sjednotit polohu bodů tak, aby jejich rozdílnost byla minimální, nebo kontrolovat body v rozdílné pozici, ale tak, aby body, které se nacházejí na koncích, měly dostatečnou míru způsobilosti a stability. Na projektu Toyota 130A Auris, který je nejproblématictější projektem právě z důvodu twistování. Nárazník má nesymetrický profil a navíc materiál je standardní ocel s  $R_m=780\text{MPa}$ . Díly se přetáčely do twistu opačného twistu vždy s novou cívku materiálu z jedné strany na druhou a bylo skoro nemožné udržet tento díl pod kontrolou, nebo ho alespoň nastavit bez zdlouhavého zkoušení všech možných variant. Běžnou praxí bylo, že se kontrolovaly přítlaky na válcích, kde se měnilo nastavení přítlaku z jedné strany na druhou, naklápění ohýbacích bloků, změny pozice jeřábu a tak dále. V diagramech jsem si povšiml korelace vyrovnání ohýbacích bloků nebo naopak vyklonění ve směru kolmém na směr toku materiálu, to má špatný vliv na redukci rozdílnosti kontrolních bodů. Bohužel nebylo nastoleno žádné pravidlo ani závislost, jak se jednotlivé ohýbací bloky mají pohybovat. Na základě komunikace s mateřskou společností a se zkušenými operátory linek se získala informace, že pro redukci twistu na díle je nejlepší vyrovnat blok číslo čtyři do vodorovné polohy, a použít ohýbací blok číslo jedna pro přetáčení dílu, ale další potřebné informace však již touto cestou nobylo možno získat. Bylo tedy zapotřebí sestavit pokus, který by nasměroval toto nastavování správným směrem. Hned při nejbližší výměně cívky jsme se pokusili postupovat dle pravidla, které je popsáno výše s tím, že jsem zaznamenával celkový posun bodů vůči sobě v závislosti na změně naklonění bloků. Odhalenou závislost pak bylo možno zobrazit v grafech (osa X popisuje změnu rozdílnosti jednotky: mm, osa Y rozdílnost v náklonu ohýbacích bloků jednotky: palce).



Obrázek 5.17 Korelace závislosti redukování twistu pomocí ohýbacích bloků



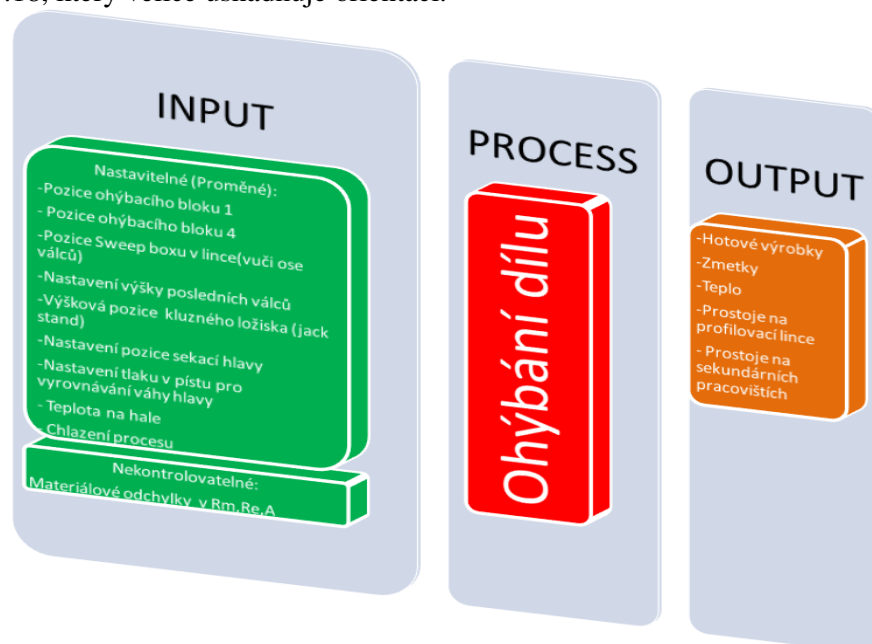
kteřá popisuje, jak velký rozdíl na blocích je zapotřebí vytvořit mezi bloky na základě rozdílnosti naměřených bodů. Tyto data se dala proložit lineární funkcí, která ukázala silnou korelaci 0,9, což se již dalo použít pro vytvoření nastavovací tabulky. Ta popisuje pohyb bloku vůči pohybu nárazníku. Tabulka slouží k simplifikaci celkového nastavení a nastavení standardu pro sjednocení způsobu minimalizování těchto problémů (Příloha 3).

## 5.4 Udržování konstantního ohybu nárazníku

Ohyb nárazníku způsobuje největší potíže na sekundárních pracovištích; z tohoto důvodu bylo nejdůležitější se zaměřit právě na tento problém. Ohyb je kontrolován na základě požadavků programového týmu ve specifikovaných místech. Ta jsou vybírána na základě toho, podle kterých bodů se nastavuje daný nárazník a také na základě kompletní sestavy. Jako nastavovací body se berou ty, které jsou uprostřed nárazníku. Opět záleží na druhu projektu.

### 5.4.1 Nastavení ohybu

Není jednoduché říci, co má největší vliv na nastavení celého ohybu, jelikož pro správné nastavení má vliv několika různých činitelů. Vše je viditelné v IPO diagramu na Obrázku 5.18, který velice usnadňuje orientaci.



Obrázek 5.18 - IPO diagram pro proces ohýbání

Na základě tohoto IPO diagramu je zřetelné, že je zapotřebí se snažit udržet velký počet proměnných na určité úrovni stability. Velkým problémem je kombinace více faktorů a způsoby nastavování. Je nutné sestavení určitých pravidel, protože každý operátor používá částečně rozdílný způsob nastavení (což je zapříčiněno nedostatečnou vyspělostí společnosti atím že chybí standardy, které by se dodržovaly), což je špatně a také je to čitelné z SPC. Projekt, na kterém je problematika prezentována je Ford B299 (Fiesta).

### 5.4.2 Výběr vhodných kontrolních bodů pro nastavení ohybu

Při prvním nastavení výrobní linky při najíždění výroby je zapotřebí nastavit nárazník na co nejlepší výsledek na tzv. golden piece (nejlepší možný díl). Na základě tohoto nastavení je nutné provést komplexní proměření způsobilosti procesu pro kontrolu, jestli všechny kontrolní body vykazují dostatečný index způsobilosti a stability. Z těchto výsledků zvolíme vhodnou úroveň zacentrování procesu v tolerančním poli pro nastavovací body tak, aby všechny body vycházely s dostatečnou mírou způsobilosti.

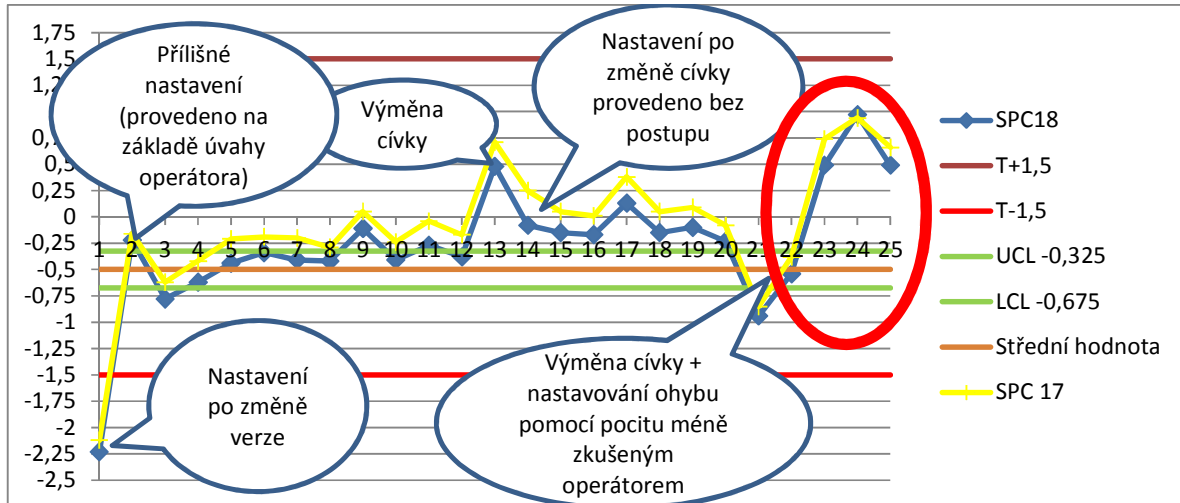
Je ovšem pochopitelně nezbytné zaznamenat všechny nastavovací parametry, které vedly k získání tohoto dílu. Nedílnou součástí je určit průběh procesu na základě výstupních dat a podle nich se stále snažit zvyšovat způsobilost procesu. U Projektu B299 jsem se řídit mírou zacentrování podle naměřených výstupních dat (Obrázek 5.19 – tabulka je v anglickém jazyce jelikož angličtina je hlavní jazyk ve společnosti) z jedné celé cívky.

| Project          |        | B299      |        |        |        |        |        |        |        |         |         | Date of production  |         |         |         | 11.5.2012 |         |         |         |
|------------------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| Modification     |        | 11.5.2012 |        |        |        |        |        |        |        |         |         | Date of measurement |         |         |         | 11.5.2012 |         |         |         |
| 1.67 Ppk capable |        | YES       | YES    | YES    | YES    | YES    | YES    | YES    | YES    | YES     | YES     | YES                 | YES     | YES     | YES     | YES       | YES     | YES     | YES     |
| Check Sheet/KPI  | 1      | 2         | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10      | 11      | 12                  | 13      | 14      | 15      | 16        | 17      | 18      | 19      |
| Fixture #        | VSP #1 | VSP #2    | VSP #3 | VSP #4 | VSP #5 | VSP #6 | VSP #7 | VSP #8 | VSP #9 | VSP #10 | VSP #11 | VSP #12             | VSP #13 | VSP #14 | VSP #15 | VSP #16   | VSP #17 | VSP #18 | VSP #19 |
| Nominal          | 0      | 0         | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0                   | 0       | 0       | 0       | 0         | 0       | 0       | 0       |
| +Tol             | 1,5    | 1,5       | 1,5    | 1,5    | 1,5    | 1,5    | 1,5    | 1,5    | 1,5    | 1,5     | 1,5     | 1,5                 | 1,5     | 1,5     | 1,5     | 1,5       | 1,5     | 1,5     | 1,5     |
| -Tol             | -1,5   | -1,5      | -1,5   | -1,5   | -1,5   | -1,5   | -1,5   | -1,5   | -1,5   | -1,5    | -1,5    | -1,5                | -1,5    | -1,5    | -1,5    | -1,5      | -1,5    | -1,5    | -1,5    |
| Avg. Dev Nom.    | 0,58   | 0,64      | -0,13  | -0,07  | 0,01   | -0,17  | -0,35  | -0,12  | -0,04  | 0,08    | -0,15   | -0,32               | 0,30    | 0,23    | -0,17   | -0,29     | -0,61   | -0,45   | 0,56    |
| StdDev           | 0,09   | 0,08      | 0,09   | 0,11   | 0,04   | 0,05   | 0,05   | 0,02   | 0,08   | 0,08    | 0,04    | 0,04                | 0,13    | 0,10    | 0,23    | 0,08      | 0,15    | 0,13    | 0,04    |
| Range            | 0,42   | 0,38      | 0,32   | 0,71   | 0,39   | 0,40   | 0,33   | 0,14   | 0,39   | 0,80    | 0,30    | 0,29                | 0,78    | 0,44    | 1,02    | 0,38      | 0,86    | 0,83    | 0,21    |
| Maximum          | 0,70   | 0,45      | 0,03   | 0,11   | 0,09   | -0,11  | -0,30  | -0,01  | 0,14   | 0,20    | -0,11   | -0,09               | 0,51    | 0,40    | 0,54    | -0,08     | -0,28   | -0,19   | 0,70    |
| Minimum          | 0,28   | 0,09      | -0,29  | -0,80  | -0,30  | -0,51  | -0,63  | -0,15  | -0,25  | -0,40   | -0,41   | -0,38               | -0,27   | -0,04   | -0,48   | -0,44     | -0,94   | -0,72   | 0,49    |
| Average          | 0,58   | 0,34      | -0,13  | -0,07  | 0,01   | -0,17  | -0,35  | -0,12  | -0,04  | 0,08    | -0,15   | -0,32               | 0,30    | 0,23    | -0,17   | -0,29     | -0,61   | -0,45   | 0,56    |
| Cp               | 5,63   | 6,12      | 5,70   | 4,39   | 12,02  | 8,16   | 11,11  | 23,11  | 6,56   | 6,00    | 12,29   | 12,79               | 3,75    | 4,80    | 2,20    | 5,93      | 3,24    | 3,72    | 12,44   |
| Cpk              | 3,45   | 4,73      | 5,22   | 4,20   | 11,94  | 8,12   | 8,51   | 21,33  | 6,41   | 5,78    | 11,05   | 10,10               | 2,89    | 4,05    | 1,94    | 4,80      | 1,92    | 2,60    | 7,77    |
| Sample 84        | 0,73   | 0,48      | 0,03   | 0,06   | 0,03   | -0,14  | -0,31  | -0,14  | -0,07  | 0,03    | -0,16   | -0,32               | 0,38    | 0,31    | 0,03    | -0,33     | -0,81   | -0,59   | 0,52    |
| Sample 85        | 0,61   | 0,37      | -0,17  | -0,09  | 0,02   | -0,17  | -0,36  | -0,12  | 0,02   | 0,09    | -0,12   | -0,35               | 0,46    | 0,33    | 0,10    | -0,27     | -0,68   | -0,50   | 0,52    |
| Sample 86        | 0,60   | 0,35      | -0,20  | -0,17  | 0,03   | -0,17  | -0,35  | -0,15  | -0,04  | 0,07    | -0,14   | -0,35               | 0,34    | 0,24    | -0,19   | -0,37     | -0,63   | -0,48   | 0,54    |
| Sample 87        | 0,72   | 0,49      | -0,02  | 0,01   | 0,02   | -0,13  | -0,32  | -0,13  | -0,15  | -0,01   | -0,15   | -0,32               | 0,29    | 0,28    | -0,17   | -0,34     | -0,83   | -0,60   | 0,58    |
| Sample 88        | 0,82   | 0,55      | 0,06   | 0,17   | 0,05   | -0,14  | -0,32  | -0,09  | 0,01   | 0,09    | -0,14   | -0,27               | 0,55    | 0,48    | 0,54    | -0,16     | -0,92   | -0,73   | 0,53    |
| Sample 89        | 0,71   | 0,46      | -0,05  | 0,02   | 0,04   | -0,13  | -0,32  | -0,10  | -0,03  | 0,06    | -0,14   | -0,29               | 0,49    | 0,37    | -0,36   | -0,18     | -0,94   | -0,76   | 0,53    |
| Sample 90        | 0,74   | 0,47      | -0,01  | 0,14   | 0,05   | -0,16  | -0,33  | -0,07  | -0,08  | -0,01   | -0,12   | -0,28               | 0,39    | 0,30    | 0,12    | -0,11     | -0,99   | -0,70   | 0,59    |

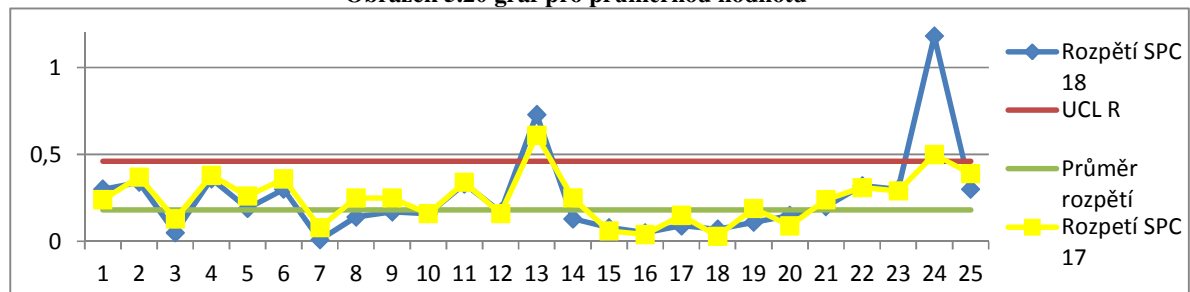
Obrázek 5.19 - Způsobilost během jedné cívky

V tomto případě nejvhodnější body pro sledování a nastavování ohybu jsou SPC17, SPC18 a pro následnou kontrolu překroucení nárazníku bod SPC13. Z dat se také vypočítají kontrolní limity pro regulační diagramy.

Z tabulky na obrázku 5.19 je patrné, že body 17,18 nejsou vycentrovány v jedné úrovni a je mezi nimi rozdíl 0,25mm, což je již první signál nevyvážení profilu nárazníku a vnášení potenciálně větší variability. Je zde rozdílnost bodů ve směru X vztaženém k souřadnému systému automobilu a bodů, které by se při pohledu kolmém na rovinu XY měly překrývat. Mezi těmito body musí být co nejmenší rozdíl z důvodu zvýšení způsobilosti procesu (zacentrováním) a redukování počtu kontrolovaných bodů. V grafech je vidět průběh měření z dvou směn jdoucích po sobě. Vše je po první implementaci SPC.



Obrázek 5.20 graf pro průměrnou hodnotu



Obrázek 5.21 - Graf pro rozpětí

Z Grafu 5.20 jasně vidíme, že výroba se nedrží kontrolních limitů a pokusy o jejich nastavení nejsou dostatečně přesné. Z důvodu dodržení počtu kusů výrobní dávky operátoři nastavili díl pouze přibližně a začali vyrábět.

Stejně tak se dělo po napojení nové cívky. Kompletní nastavování je prováděno jen odhadem operátorů, jak moc mají otočit klikou na sweep boxu, aby se díl přiohnul více či méně. Na základě naměřeného kusu se operátor rozhodoval, zda nastaví pozici ohýbacích bloků výše či níže - toto je první věc, kterou bylo zapotřebí změnit.

Po změně projektu, jak je vidět v prvním bodě, byl díl kompletně mimo zákaznické tolerance a kusy byly s určitostí zmetky. Toto nastavení proběhlo na základě nastavovacího manuálu (setup instruction), ale výsledek nebyl takový, aby první kus byl hned dobrý kus. Toto není zapříčiněno nastavovacím manuálem, ale opotřebením stroje, operátorem (jeho snahou o podání nejlepšího výkonu) a celkovou mírou přesnosti nastavení všech parametrů uvedených v IPO diagramu, obrázek 5.18.

Dalším výrazným bodem v diagramu jsou body naměřené po napojení cívky. Zde je také patrné, že po každém napojení se změnil díl. Toto jsou aktuálně nejpodstatnější informace, které se daly vypořádat z diagramů.

### 5.4.3 Nastavení prvního kusu po změně projektu

Pro zvýšení využitelnosti stroje je zapotřebí provádět kompletní přestavbu linky z projektu na projekt několikrát do týdne (podle potřeb zákazníka a z důvodu nedržet velké skladové zásoby).

To obsahuje výměnu raznice, válců, svařovacího mostu, sekací hlavy a opětovně protažení materiálu skrz linku. K nastavení používáme nastavovací manuál, kde jsou zaznamenány všechny potřebné parametry pro daný projekt. V IPO na Obrázku 5.18 je

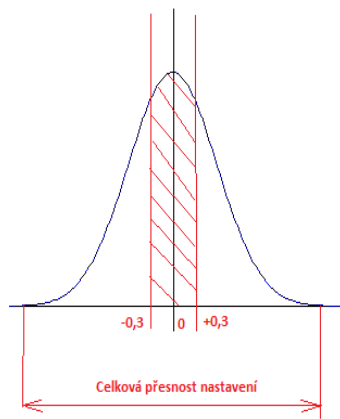
sepsáno, co bylo nutno nastavovat (aktuálně známé nutné nastavení). Nejsnažší řešení redukce variace je její vymezení pomocí metody POKA-YOKE. Tato metoda byla použita pro vymezení pozice sweep boxu pomocí kolíků, kde se nedalo toto vyřešit, ať už z přílišné pracnosti nebo z důvodu, že nebylo zatím domyšleno technické řešení výrazného opotřebování kluzných částí atd.

Bylo zapotřebí sestavit pokus, který nám jednoduše ukázal, jak velkou variaci vyprodukuje každý operátor při provádění nastavení jednotlivých kritických součástí linky. Dále také zjistit, jaká je finální pravděpodobnost, kdy první díl bude vyroben s těmito parametry v tolerančním poli (ne v kontrolních limitech). V procesu ohýbání jsou všechny parametry, které mají vliv na ohyb, zapojeny sériově. Z tohoto důvodu se bude i výpočet spolehlivosti počítat ve stejném uspořádání.

Hodnota disjunkce:

$$P_c = P_{\text{ložiska}} \times P_{\text{přítlaku}} \times P_{\text{Válec}} \times P_{\text{Bloky}} \times P_{\text{CB}}$$

Vzorec uvedený výše je lépe pochopitelný z grafického znázornění, viz Obrázek 5.22. Jak bylo řečeno výše, pravděpodobnost se musí vypočítat pro nastavení jednotlivých parametrů, které mají vliv na rozdělení tolerančního pole do pěti stejně širokých tolerančních polí, což v tomto případě znamená  $\pm 0,3\text{mm}$ . Pravděpodobnost se vypočítá jako plocha, kterou zabírá toto rozpětí z Gaussovy křivky reprezentující možnosti variability nastavení daného členu.



**Obrázek 5.22 Výpočet pravděpodobnosti nastavení jednoho prvku**

Pokus pro získání hodnot pro výpočet jednotlivých šířek Gaussovy křivky probíhal tak, že byli vybráni tři operátoři. Všichni absolvovali důkladné proškolení. Následně se nastavily kontrolní body na nominální hodnotu a rozladil se jeden činitel. Operátor musel tento činitel opět nastavit tak, jak bylo předepsáno v nastavovacím manuálu a vyrobit tři kusy, na kterých se projevilo nastavení. Po něm byl kus opět nastaven na nominální hodnotu a celý tento proces se opakoval s dalším operátorem. Taktó se postupovalo se všemi třemi operátory pro všech pět činitelů.

Výpočet šířky Gaussovy křivky pro jednotlivé činitele z tak malého počtu měření je nepřesný, ale jelikož náklad na jednu hodinu stroje je 8 000 Kč a tento experiment trval pět hodin, nebylo možno provádět tento pokus s více operátory a s větším počtem měření.

Průběh experimentu s vysvětlením jednotlivých činitelů je v řádcích níže.

Nastavení pozice kluzného ložiska - Kluzné ložisko slouží k navedení materiálu do ohýbačky a také podepírá materiál, aby nedocházelo k jeho ohýbání před posledním válcem. Měření nastavení se provádí pomocí výškoměru, měřená vzdálenost je mezi základní deskou stroje a spodní stranou nárazníku těsně před vstupem materiálu do ložiska.



**Obrázek 5.23 Měření výškového nastavení kluzného ložiska**

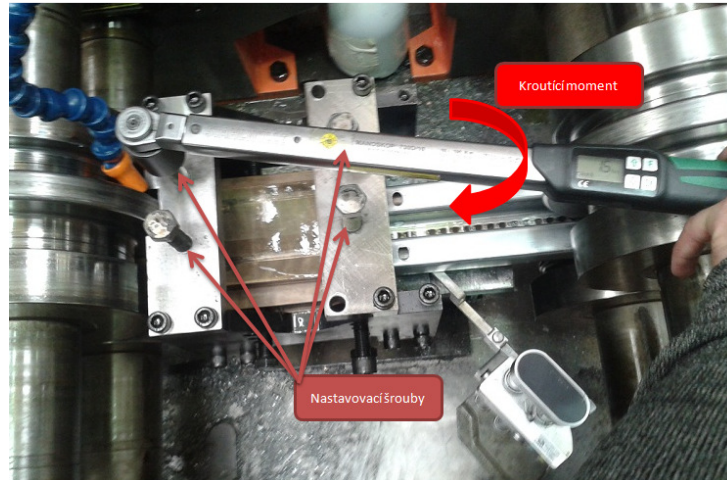
Nastavení je prováděno pomocí šroubového zvedáku. Tvarovaný materiál je v dotyku s vložkami ložiska, které jsou zhotoveny ze slitiny bronzu AMPCO 25 a které má velice dobré kluzné vlastnosti.

|                                 |      | Sweep |       | Side sweep | Twist |
|---------------------------------|------|-------|-------|------------|-------|
| operator 1                      | part | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | 0     | -0,08 | -0,13      | 0,13  |
|                                 | 2    | -0,06 | 0,09  | -0,1       | 0,23  |
|                                 | 3    | 0,05  | -0,01 | -0,47      | 0,26  |
|                                 | AVER | 0,00  | 0,00  | -0,23      | 0,21  |
| std                             |      | 0,06  | 0,09  | 0,21       | 0,07  |
| operator 2                      |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | 0,93  | 0,9   | -0,21      | 0,48  |
|                                 | 2    | 0,73  | 0,8   | -0,57      | 0,26  |
|                                 | 3    | 0,86  | 1     | -0,62      | 0,45  |
|                                 | AVER | 0,84  | 0,90  | -0,47      | 0,40  |
| std                             |      | 0,10  | 0,10  | 0,22       | 0,12  |
| operator 3                      |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | 0,87  | 1,04  | -0,37      | 0,37  |
|                                 | 2    | 1,12  | 1,19  | -0,49      | 0,45  |
|                                 | 3    | 1,08  | 1,05  | -0,3       | 0,26  |
|                                 | AVER | 1,02  | 1,09  | -0,39      | 0,36  |
| std                             |      | 0,13  | 0,08  | 0,10       | 0,10  |
| AVER                            |      | 0,62  | 0,66  | -0,36      | 0,32  |
| std                             |      | 0,48  | 0,51  | 0,19       | 0,12  |
| Reproducibility $6\sigma$       |      | 2,89  | 3,99  | -2,17      | 1,93  |
| Pravděpodobnost všech operátorů |      | 0,225 | 0,208 | 0,371      | 0,431 |

**Tabulka 3 - Nastavení pozice kluzného ložiska**

*Nastavení přitlaku na kluzném ložisku* - Experiment probíhal naprosto totožně jako u nastavení pozice stojanu. Tento přitlak na ložisku redukuje přítomnost vlnek ze zadní strany nárazníku. Změna nastavení se však projeví i na finálním prohnutí nárazníku. Přítlačná síla je vyvíjena pomocí šroubů, které se dotahují na určitý kroučící moment.





Obrázek 5.24 - Nastavení přítlaku na ložisku

Z výsledků vyšlo, že nastavení tohoto přítlaku není až tak zásadní parametr a vnáší do celkového ohybu při nastavení nejnižší stupeň variability.

|                                 |      | Sweep |       | Side sweep | Twist |
|---------------------------------|------|-------|-------|------------|-------|
| operator 1                      | part | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | -0,09 | 0,03  | -0,11      | 0,47  |
|                                 | 2    | -0,04 | -0,1  | -0,17      | 0,39  |
|                                 | 3    | -0,18 | -0,16 | -0,26      | 0,51  |
|                                 | AVER | -0,10 | -0,08 | -0,18      | 0,46  |
|                                 | std  | 0,07  | 0,10  | 0,08       | 0,06  |
| operator 2                      |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | -0,18 | 0,01  | -0,32      | 0,59  |
|                                 | 2    | -0,22 | 0     | -0,21      | 0,45  |
|                                 | 3    | -0,24 | -0,11 | -0,05      | 0,48  |
|                                 | AVER | -0,21 | -0,03 | -0,19      | 0,51  |
|                                 | std  | 0,03  | 0,07  | 0,14       | 0,07  |
| operator 3                      |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | 0,03  | 0,16  | -0,16      | 0,62  |
|                                 | 2    | -0,1  | 0     | -0,12      | 0,51  |
|                                 | 3    | 0     | 0     | -0,04      | -0,33 |
|                                 | AVER | -0,02 | 0,05  | -0,11      | 0,27  |
|                                 | std  | 0,07  | 0,09  | 0,06       | 0,52  |
| AVER                            |      | -0,11 | -0,02 | -0,16      | 0,41  |
| std                             |      | 0,10  | 0,09  | 0,09       | 0,29  |
| Reproducibility $6\sigma$       |      | 0,58  | 0,57  | 0,56       | 1,72  |
| Pravděpodobnost všech operátorů |      | 0,972 | 0,998 | 0,934      | 0,344 |

Tabulka 4 - Nastavení přítlaku na ložisku

Nastavení spáry na posledním válci - Podle studie vnáší největší variabilitu do nastavování procesu ohýbání právě poslední válce před sweep boxem a obzvláště nastavení jejich vzájemné vzdálenosti. Ta se na všech válcích nastavuje podle tloušťky plechu. Nastavuje se pomocí spároměrek, což je založeno na schopnostech operátora a nastavení nedosahuje dostatečné míry opakovatelnosti.

|            |      | Sweep |      | Side sweep | Twist |
|------------|------|-------|------|------------|-------|
| operator 1 | part | SPC1  | SPC2 | SPC6       | SPC9  |
|            | 1    | 2,47  | 2,37 | -0,47      | 0,31  |
|            | 2    | 2,4   | 2,32 | -0,41      | 0,01  |

|                                |      |       |       |       |       |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                | 3    | 2,33  | 2,48  | -0,53 | 0,44  |
|                                | AVER | 2,40  | 2,39  | -0,47 | 0,25  |
|                                | std  | 0,07  | 0,08  | 0,06  | 0,22  |
| operator 2                     |      | SPC1  | SPC2  | SPC6  | SPC9  |
|                                | 1    | 1,63  | 1,72  | -0,32 | 0,25  |
|                                | 2    | 1,72  | 1,78  | -0,5  | 0,39  |
|                                | 3    | 1,84  | 1,79  | -0,38 | 0,24  |
|                                | AVER | 1,73  | 1,76  | -0,40 | 0,29  |
|                                | std  | 0,11  | 0,04  | 0,09  | 0,08  |
| operator 3                     |      | SPC1  | SPC2  | SPC6  | SPC9  |
|                                | 1    | 0,71  | 0,78  | -0,43 | 0,22  |
|                                | 2    | 0,79  | 0,81  | -0,36 | 0,25  |
|                                | 3    | 0,63  | 0,74  | -0,4  | 0,27  |
|                                | AVER | 0,71  | 0,78  | -0,40 | 0,25  |
|                                | std  | 0,08  | 0,04  | 0,04  | 0,03  |
| AVER                           |      | 1,61  | 1,64  | -0,42 | 0,26  |
| std                            |      | 0,74  | 0,71  | 0,07  | 0,12  |
| Reproducibility $6\sigma$      |      | 4,44  | 4,24  | 0,41  | 0,72  |
| Pravděpodobost všech operátorů |      | 0,033 | 0,026 | 0,036 | 0,616 |

**Tabulka 5 - Nastavení posledních válců**

*Nastavení tlaku na counter balanceru pro vyvažování váhy sekací hlavy* - Studie byla provedena naprosto stejně jako u předešlých parametrů s výsledkem, který můžete vidět níže v Tabulce 6.

|                                |      | Sweep |       | Side sweep | Twist |
|--------------------------------|------|-------|-------|------------|-------|
| operator 1                     | part | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                | 1    | -0,09 | 0,03  | -0,11      | 0,47  |
|                                | 2    | -0,04 | -0,1  | -0,17      | 0,39  |
|                                | 3    | -0,18 | -0,16 | -0,26      | 0,51  |
|                                | AVER | -0,10 | -0,08 | -0,18      | 0,46  |
|                                | std  | 0,07  | 0,10  | 0,08       | 0,06  |
| operator 2                     |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                | 1    | -0,18 | 0,01  | -0,32      | 0,59  |
|                                | 2    | -0,22 | 0     | -0,21      | 0,45  |
|                                | 3    | -0,24 | -0,11 | -0,05      | 0,48  |
|                                | AVER | -0,21 | -0,03 | -0,19      | 0,51  |
|                                | std  | 0,03  | 0,07  | 0,14       | 0,07  |
| operator 3                     |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                | 1    | 0,03  | 0,16  | -0,16      | 0,62  |
|                                | 2    | -0,1  | 0     | -0,12      | 0,51  |
|                                | 3    | 0     | 0     | -0,04      | -0,33 |
|                                | AVER | -0,02 | 0,05  | -0,11      | 0,27  |
|                                | std  | 0,07  | 0,09  | 0,06       | 0,52  |
| AVER                           |      | -0,11 | -0,02 | -0,16      | 0,41  |
| std                            |      | 0,10  | 0,09  | 0,09       | 0,29  |
| Reproducibility $6\sigma$      |      | 0,58  | -0,11 | -0,96      | 2,46  |
| Pravděpodobost všech operátorů |      | 0,972 | 0,998 | 0,934      | 0,344 |

**Tabulka 6 - Nastavení tlaku na vyrovnávacím válci**

Z Tabulky 6 vyplývá, že každý operátor dokáže nastavit parametr pomocí tlakových čidel s přiměřenou přesností a vysokou mírou pravděpodobnosti a že nastavení bude provedeno správně. V systému jsou zapojeny dva válce; každý má funkční průměr 100 mm. Tlak zde není fixní z důvodu usnadnění manipulace při změně projektu a také z důvodu, že každý projekt má hlavu s rozdílnou hmotností (záleží na konstrukčním řešení – horizontální, vertikální sekání).



*Pozice ohýbacích bloků ve sweep boxu* – Pozice bloků se nastavuje pomocí šroubového odměřování, kde je jasné, na jakou hodnotu se má daný parametr nastavit.

|                                 |      | Sweep |       | Side sweep | Twist |
|---------------------------------|------|-------|-------|------------|-------|
| operator 1                      | part | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | 0,07  | 0,06  | -0,2       | 0,4   |
|                                 | 2    | 0,02  | 0,17  | -0,15      | 0,48  |
|                                 | 3    | 0,17  | 0,17  | -0,17      | 0,34  |
|                                 | AVER | 0,09  | 0,13  | -0,17      | 0,41  |
|                                 | std  | 0,08  | 0,06  | 0,03       | 0,07  |
| operator 2                      |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | 0,13  | 0,13  | -0,13      | 0,48  |
|                                 | 2    | -0,15 | 0     | -0,05      | 0,44  |
|                                 | 3    | -0,18 | -0,09 | -0,11      | 0,34  |
|                                 | AVER | -0,07 | 0,01  | -0,10      | 0,42  |
|                                 | std  | 0,17  | 0,11  | 0,04       | 0,07  |
| operator 3                      |      | SPC1  | SPC2  | SPC6       | SPC9  |
|                                 | 1    | 0     | 0,06  | -0,17      | 0,39  |
|                                 | 2    | -0,12 | 0     | -0,17      | 0,46  |
|                                 | 3    | -0,16 | -0,09 | -0,04      | 0,42  |
|                                 | AVER | -0,09 | -0,01 | -0,13      | 0,42  |
|                                 | std  | 0,08  | 0,08  | 0,08       | 0,04  |
| AVER                            |      | -0,02 | 0,05  | -0,13      | 0,42  |
| std                             |      | 0,13  | 0,10  | 0,06       | 0,05  |
| Reproducibility 6σ              |      | 0,80  | 0,60  | 0,34       | 0,32  |
| Pravděpodobnost všech operátorů |      | 0,974 | 0,994 | 0,999      | 0,015 |

Tabulka 7 - Nastavení pozice ohýbacích bloků

#### 5.4.3.1 Celková pravděpodobnost správného nastavení

Po pronásobení všech výsledků nebylo pochyb o nemožnosti nastavení prvního kusu jako správného. Překvapením bylo, že pravděpodobnost nastavení prvního kusu je až tak nízká. Výsledné hodnoty vyšly, jak můžete vidět v tabulce níže.

|                         | Sweep  |        | Side sweep | Twist  |
|-------------------------|--------|--------|------------|--------|
|                         | SPC1   | SPC2   | SPC6       | SPC9   |
| Celková pravděpodobnost | 0,689% | 0,528% | 1,155%     | 0,047% |

Tabulka 8 - Celkové výsledky pravděpodobnosti nastavení správného kusu

Aktuálně nemá tedy smysl se tímto bodem zabírat dále. Pouze se s ním naučit žít a být schopni následně zacentrovat proces na základě výstupních dat. Nastavování prvního kusu jako dobrého kusu je předmětem jiné práce. Tento propočít byl vytvořen ve spolupráci s RNDr Blankou Šedivou Ph.Dr.

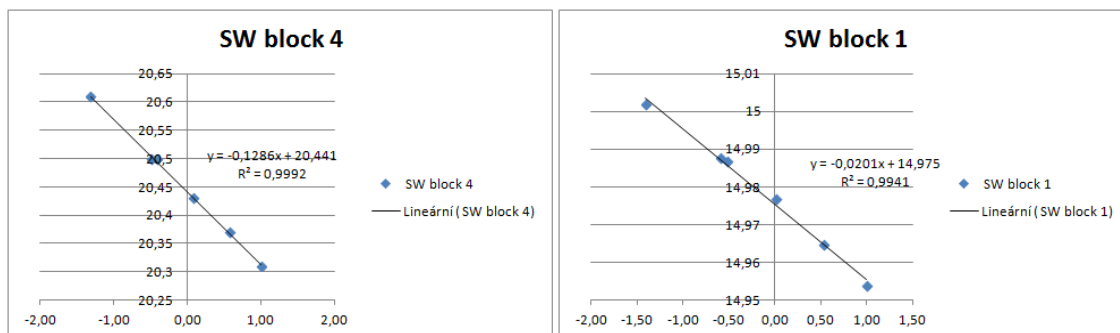
#### 5.4.4 Zacentrování procesu parametru ohybu na nominální hodnotu

Hned druhý a třetí bod diagramu na obrázku 5.20, 5.21 poukazuje na dvě provedená nastavení bez ověření předešlého nastavení. Stejně tak je z dat jasné, že po napojení cívky se výstupní díl také změnil, a to bez žádného vnějšího zásahu do nastavení procesu. To ale není předmětem této kapitoly. V kapitole 5.3 je popsáno, že do nastavení ohybu vstupuje pět činitelů. Z diagramů bylo zřetelné, že k donastavování ohybu se používají ohýbací bloky. Na základě tohoto je možno finální nastavení simplifikovat tak, že po prvním nastavení se

následující prvky - posledního válce, přítlaku na kluzném ložisku, poloha ložiska a nastavení tlaku na vyrovnávacím válci bere jako jeden prvek pevně nastavený, a druhý prvek je používán jako volně nastavitelný, který je právě určen pro následné zpřesnění nastavení. Ohýbací bloky se nastavují ve směru kolmém vůči základní desce stroje. Nastavování probíhá pomocí klik, které jsou připojeny pomocí převodovky k lichoběžníkové závitové tyči, kde je na konci upevněn ohýbací blok. Pro měření polohy bloku se používají mechanické číslicové indikátory polohy, které počítají výškové nastavení v palcích (toto nastavení nebylo nikdy nadefinováno; jak se má regulovat podle výstupních dat ohybu). Nepochybné bylo, jestli se mají bloky zvednout výše nebo pustit níže na základě toho, jestli byl nárazník příliš nebo nedostatečně ohnutý. Chyběla závislost výškového nastavení bloků vůči výstupním hodnotám průhybu nárazníku.

#### 5.4.4.1 Sestavení nastavovacího manuálu pro nastavení ohybu

Experiment byl sestaven následným způsobem, díl byl nastaven na minimální spodní hranici tolerance ohybu. Následně se započalo nastavovat ohyb vždy se stejným inkrementem 0.060 palce (1,524mm) na ohýbacím bloku číslo čtyři a o inkrement 0,012 palce (0,304mm) na ohýbacím bloku číslo jedna vždy oba dva bloky současně ve stejném směru. Toto nastavení bylo provedeno provedl šestkrát za sebou vždy se zaznamenáním aktuálního nastavení pozice vůči průměrné hodnotě tří kusů vyrobených s tímto nastavením. Po vložení těchto hodnot do grafu byla získána lineární závislost s velice silnou korelací, jak je vidět v grafech na obrázku 5.25.



Obrázek 5.25 - Nastavovací funkce pro nastavení ohybu

Podle funkcí s takto silnou korelací bylo možno propočítat závislost pro správné nastavování (Příloha 4), která se velice osvědčila a tím se vyliminovaly chyby, které byly zapříčiněny nesprávným nastavováním bez vyššího smyslu, čímž nastavování bylo sjednoceno pro všechny operátory.

#### 5.4.5 Napojení materiálu cívky

Toto je reprezentováno v obrázku 5.21 body 13 a 21 (body uprostřed diagramu které jsou mimo kontrolní limity) kde je patrný razantní skok, který je zapříčiněn právě napojením materiálu. Jelikož díly jsou vyráběny z cívky, z které je možno vyrobit přibližně tisíc kusů. Průměrná výrobní dávka je 2000 kusů za směnu. Každá směna se tedy bude potýkat s těmito problémy. Cívky jsou dodávány od jednoho dodavatele, ale z důvodu nižší ceny se používají cívky s různými drobnými odchylkami od předešlé cívky. To je zapříčiněno různým číslem tavby, drobnými odchylkami mechanicko tepelného zpracování, které je způsobeno nestabilitou předešlého procesu našeho dodavatele. Toto je bohužel ale přirozená součást procesu výroby a redukování těchto zvláštních příčin je obtížné na výrobní hale. To je spíše úkol pro vrcholový management vyjednat případné zdražení výrobku se zákazníkem nebo najít jiného dodavatele cívek. To je ale úkol na dlouhodobější řešení.

### 5.4.5.1 Preventivní řešení

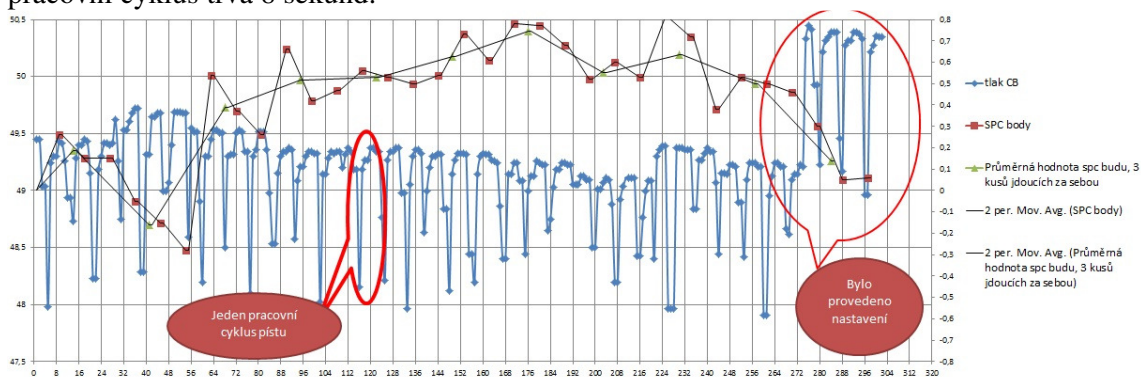
Jak již bylo řečeno napojení cívky je periodicky se opakující. Ze zkušenosti operátorů vzešla informace, že velice často se po změně cívky změní hodnoty kontrolních bodů ohybu, což bylo patrné i z regulačních diagramů. Pro ověření tohoto tvrzení jsem si sestavil pravděpodobnostní výpočet, který dokládá toto tvrzení. Překontroloval jsem diagramy ze čtrnáctidenního období a podrobil je jen analýze kvalitativní (se změnou výstupních dat, beze změny výstupních dat dílu).

$$P = \frac{\text{Počet zvláštních příčin po napojení cívky}}{\text{Celkový počet cívek}}$$

Počet cívek byl 33 a zvláštních příčin bylo 27 po napojení cívky, z čehož plyne že  $P = 0,81$ . To znamená, že v 81% případů bylo zapotřebí zasáhnout a nastavit díl pro navrácení procesu do kontrolních limitů. Pro toto nastavení se používá ta samá tabulka jako pro nastavování ohybu.

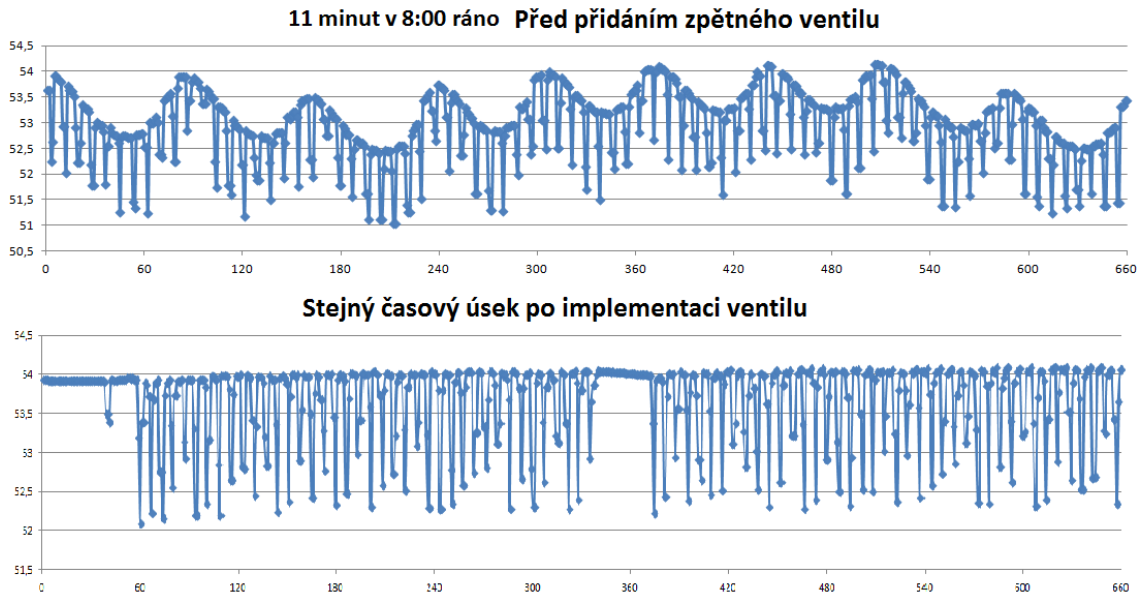
### 5.4.6 Stabilizace tlaku pístu pro vyrovnání váhy sekací hlavy

V regulačních diagramech pro projekt Toyota 130A, který je vyráběn z tenčího plechu (1,1mm) a s výrazně nižší mezí pevnosti (780Mpa) než u nárazníků pro automobilku Ford, se v diagramech pro ohyb vyskytovaly nahodile body mimo kontrolní limity s náhlou chvilkovou odchylkou značné intenzity, což se na diagramu projevilo krátkými vertikálními pulsy. Pokaždé, když se tento fenomén objevil, operátoři nastavili linku opět na nominální hodnotu ohybu, ale opět se zopakoval ten samý děj. Následně regulační diagramy byly plny zvláštních příčin. Naprosto nestabilní výroba. Na základě těchto problémů byl sestavit pokus výroby prototypových kusů bez sekací hlavy. Z výsledků se zjistilo, že kusy vycházejí konstantně ohnuty s minimálními odchylkami mezi jednotlivými kusy. Z toho se dalo usoudit, že problém variability vychází ze sekací hlavy. Byli nainstalovány tlaková čidla do vzdušníku, který zásobuje vyrovnávací píst, a pozoroval na výstupních datech tlak v porovnání vůči pohybu SPC bodů, tlak je nahráván s periodou jedné sekundy. Jeden pracovní cyklus trvá 8 sekund.



Obrázek 5.26 Průběh tlaku v pístu v porovnání vůči SPC datům

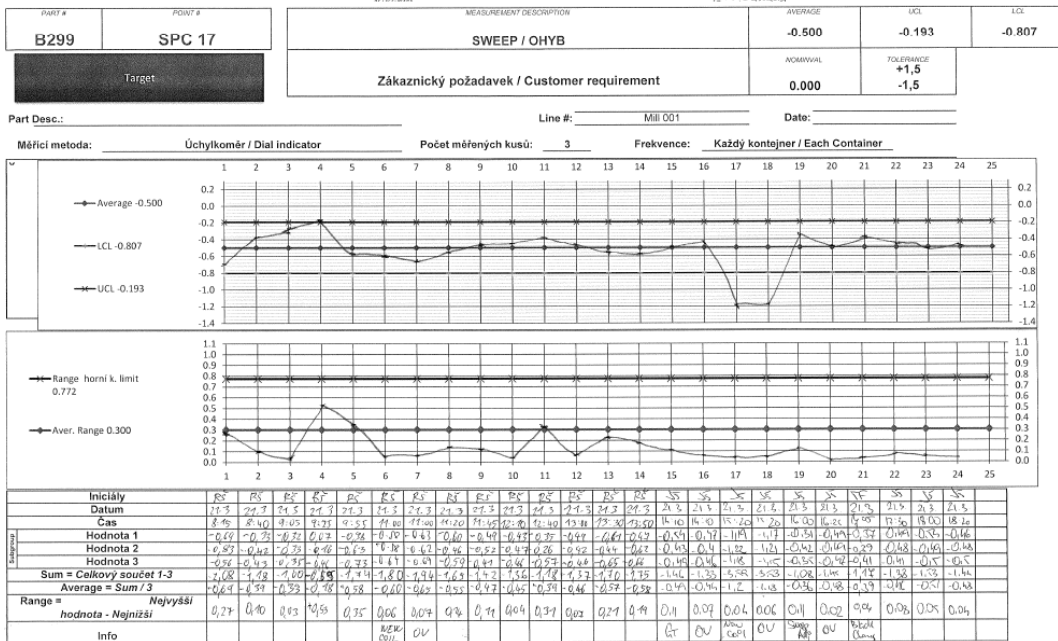
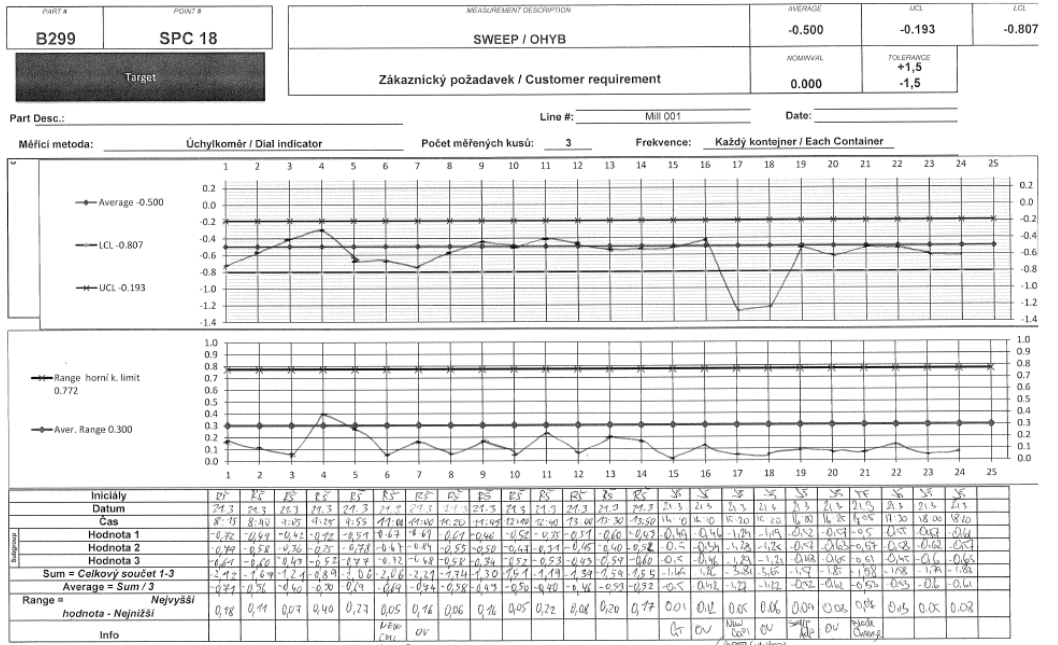
Experiment potvrdil, že body jsou ovlivňovány skutečně změnou tlaku v pístu. Z tohoto důvodu se proměřil tlak v pístu v dlouhodobějším měřítku a ukázalo se, že tlak periodicky kolísá v závislosti na poklesech tlaků v hlavním řádu. Tento pokles je zapříčiněn únikem tlaku zpět ve chvíli před tím, než centrální kompresor sepne k opětovnému navýšení tlaku. Pro zamezení tohoto poklesu byl přidán do vzduchového okruhu zpětný ventil mezi vzdušníkem a dopouštěcí ventil tak, aby se zamezilo průrazům.



**Obrázek 5.27 Porovnání tlaků před a po implementaci ventilu**

Tím se ustálil tlak tak, že vymizela vlna, ale v grafu je stále vidět značný rozdíl tlaku v průběhu jednoho cyklu výroby dílu. Ten je způsoben pohybem pístu v pracovním prostoru. Jestliže se tento cyklus opakuje pravidelně a nenahodile, nezapříčiňuje to problém, jelikož variace je stejná pro každý díl. Díky této změně se body stabilizovaly a dostaly do kontrolních limitů. Výroba se následně stabilizovala a nebyl již problém po nastavení dílu udržet výrobu zacentrovanou a v kontrolních limitech bez zbytečného nastavování.

Na základě těchto nastavovacích manuálů, pravidel pro redukování twistu a stabilizaci tlaků se operátoři dokázali dostat do stavu, ve kterém jsou zvláštní příčiny signálem pouze výměny cívky a nebo toho, že je nějaká součást linky rozbita. Aktuálně regulační diagramy pro redukování ohybu vypadají jak je vidět v diagramech z 21.3.2013 v obrázku 5.28.



Obrázek 5.28 Regulační diagramy pro ohyb nárazníku

Tyto grafy dokonce poukazují, že s výjimkou bodů připojení nové cívky (body 17,18), je výroba silně stabilní, což poukazují grafy rozptylu, a je zapotřebí přepočítat meze regulačních diagramů a pokračovat v neustálém zlepšování procesu.

### 5.5 Redukování šířky a výšky nárazníku

Šířka a výška by měly být již správně vyrobeny v okamžiku, kdy díl opustí poslední válce, ale bohužel z důvodu ohýbání rádiu dílu, se díl takzvaně otevírá. Tento nežádoucí jev se redukuje pomocí resizeru, který po ohnutí zavírá díl zpět a může také sloužit k posledním úpravám profilu před odseknutím.

### 5.5.1 Výška nárazníku

Výška je proměnlivá v průběhu nárazníku, ve směru toku materiálu skrz linku. Jelikož profil se takzvaně zavírá tak, že strana dílu, která vystupuje z linky jako první před odsekutím, má vždy větší profil než strana, která ze stroje odpadává jako druhá. Z tohoto důvodu se díl měří na třech místech, jak je popsáno v kapitole 4.1.2.

#### 5.5.1.1 Prostředek nárazníku

Jak bylo zmíněno výše, že konce se takzvaně otevírají, musí se prostředek nárazníku zacentrovat na nominální hodnotu a následně nechat běžet výrobu pro výpočet kontrolních limitů. V počátku byl opět problém se samotným zacentrováním, operátoři namísto aby výrobek zacentrovali s co nejvyšší přesností, spokojili se s dosažením parametrů uvnitř tolerančního pole. Pro příklad u nárazníku, kde je výška  $90 \pm 1,5$ , operátor nastavil výrobu tak, že hodnoty vystupovaly z procesu s průměrnou hodnotou 90,8mm. To bylo zapříčiněno nedokonalou nastavovací instrukcí a také nedokonalou měřicí metodou nastavení na resizeru.

Původně se používalo pro toto nastavení pouze měření pomocí posuvného měřítka, které ale každý operátor mohl umístit do rozdílného místa než předešlý operátor, a mohla zde být opět zanesena chyba měření skloněním posuvného měřítka v některém směru. Z tohoto důvodu byla vyvrtána díra pro vkládání číselníkového úchylkoměru. Následně se tento rozměr dal opakovaně nastavit na základě instrukce, čímž se stanovil tento rozměr a již nebylo zapotřebí se tímto nastavením více zabývat. Rozměr je také indeferentní vzhledem k napojení cívky.

#### 5.5.1.2 Konce nárazníků

V předešlém odstavci je popsáno, že konce dílu jsou velice problematicky kontrolovány. V aktuální době není v podniku žádná možnost, jak zamezit otvírání konců aniž by bylo nutno zařadit do výroby dalšího sekundárního pracoviště. Pravidelně měřená data se vyskytují průběžně v celém rozsahu tolerančního pole, ždy stabilně po celou cívku, s její výměnou se ale celé pole měřených rozměrů přesune o několik desetin milimetrů jinam. To je způsobeno nestejnorodostí výchozího materiálu. Ale jestliže je správně dodržován rozměr na středu nárazníku, konce se nikdy nedostanou mimo toleranční pole.

### 5.5.2 Šířka nárazníku

Šířka se měří uprostřed nárazníku, jak je popsáno v kapitole 4.1.1 pomocí posuvného měřítka. Na základě výstupních dat bylo zjištěno zjistil, že operátoři opět nechávají nárazník vystupovat z linky bez pokusů o zacentrování šířky jak jedné nebo druhé strany na nominální hodnotu, z tohoto důvodu nebyl problém vyrábět nárazník, který byl se nacházel se zmíněným rozměrem v tolerančním poli ale proces nebyl precizně zacentrován. Z pohledu zákazníka bylo vše v pořádku, ale z pohledu použití těchto dílů na sekundárních pracovištích je tato variace naprosto nepřijatelná. Po výpočtu regulačních mezí a sestavení diagramů byli operátoři nuceni se dostat na požadovanou nominální hodnotu. Při prvním počítání mezí na projektu Ford B299 byli vypočteny kontrolní limity od sebe vzdálené na rozměr 0,4 mm. Provedlo se také ovšem zlepšení měřicí, respektive nastavovací metody nastavení resizeru a supervizoři přiměli operátory provádět toto nastavení na začátku výroby tak aby byl se nominální hodnotu. Následně se výroba natolik stabilizovala, že v grafu pro rozpětí se objevila velká zvláštní příčina a to všechny body náměrů rozmístěny pod křivkou průměru rozpětí. Na základě dat vedení rozhodlo přestat, že se nebudeme nadále snažit redukovat tento rozměr z toho důvodu, že není zapotřebí více stabilizovat.



## 6 Zhodnocení

V prvním čtvrtletí loňského roku 2012 dosahovala zmetkovitost k 20% na přidělené lince. To je patrné z ukazatelů pro výpočet OEE (celkové efektivity stroje) Obrázek 6.1.

| Part           | Good Qty | Rejected Qty | Scrap Qty | Ideal Rate | Operating Hrs | Plan Hrs | Utilization | Efficiency | Quality Rate | OEE      |
|----------------|----------|--------------|-----------|------------|---------------|----------|-------------|------------|--------------|----------|
| ROLL001 Total: | 26825    | 1978         | 4158      |            | 110.067       | 315.967  | 34.835%     | 69.478%    | 81.384%      | 19.697 % |
| Grand Total:   | 26825    | 1978         | 4158      |            | 110.067       | 315.967  | 34.835%     | 69.478%    | 81.384%      | 19.697 % |

Obrázek 6.1 Výsledky za první čtvrtletí roku 2012

Celkový výsledek OEE je nepříznivý, protože se zde podepisují všechny ukazatelé, jak využití, tak výkonost i kvalita. Od této doby se zmetkovitost, díky implementaci SPC a zvýšením disciplíny, snížila na 9,5% za celý rok 2012, což v přepočtu na finanční náklady, při kurzu 1euro = 25kč a ceně dílu 8 euro, znamenalo ztrátu přes 6,5 miliónů korun na jednom pracovišti pouze ve zmetcích. Bez výše popsaných zlepšení by ztráta přesahovala 13 miliónů korun. Pro potvrzení těchto údajů je použit znovu report OEE za rok 2012 Obrázek 6.2.

| Part           | Good Qty | Rejected Qty | Scrap Qty | Ideal Rate | Operating Hrs | Plan Hrs  | Utilization | Efficiency | Quality Rate | OEE      |
|----------------|----------|--------------|-----------|------------|---------------|-----------|-------------|------------|--------------|----------|
| ROLL001 Total: | 320513   | 3184         | 30555     |            | 927.568       | 2,655.903 | 34.925%     | 84.538%    | 90.476%      | 26.713 % |
| Grand Total:   | 320513   | 3184         | 30555     |            | 927.568       | 2,655.903 | 34.925%     | 84.538%    | 90.476%      | 26.713 % |

Obrázek 6.2 Výsledky za celý rok 2012

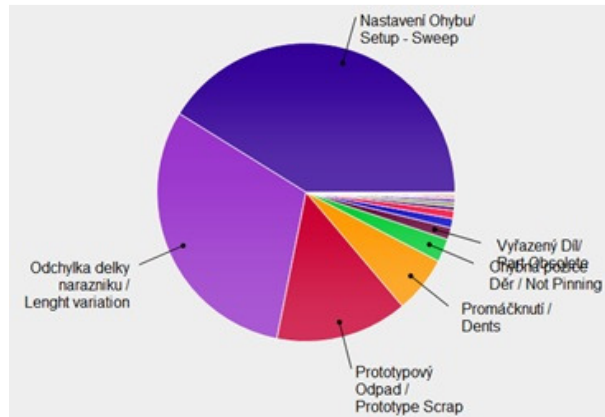
V letošním roce 2013 je plánováno trojnásobné navýšení výroby. Podle ukazatelů zmetkovitosti jsme se již dostali za uplynulé období letošního roku na 3,21% zmetků z celkového objemu výroby, což je přibližně 3krát méně než za uplynulý rok 2012; trend zmetkovitosti je tedy klesající a celkové OEE vykazuje zlepšující se výsledky Obrázek 6.3.

| Part           | Good Qty | Rejected Qty | Scrap Qty | Ideal Rate | Operating Hrs | Plan Hrs  | Utilization | Efficiency | Quality Rate | OEE      |
|----------------|----------|--------------|-----------|------------|---------------|-----------|-------------|------------|--------------|----------|
| ROLL001 Total: | 167470   | 0            | 5558      |            | 440.934       | 1,039.669 | 42.411%     | 85.274%    | 96.788%      | 35.004 % |
| Grand Total:   | 167470   | 0            | 5558      |            | 440.934       | 1,039.669 | 42.411%     | 85.274%    | 96.788%      | 35.004 % |

Obrázek 6.3 Výsledky za uplynulé období roku 2013

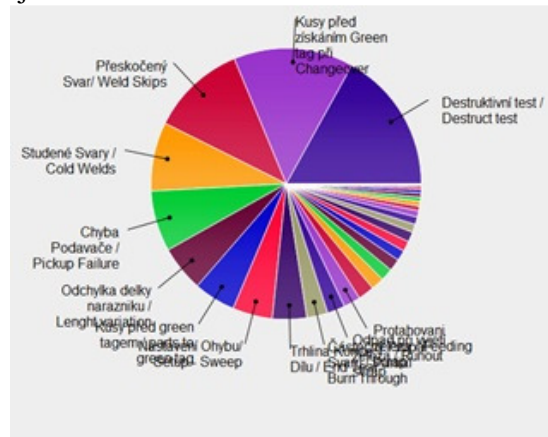
V grafu na obrázku 6.4 jsou zaznamenány nejčastější příčiny, z kterých vznikaly zmetky v první polovině roku 2012. Z grafu vyplývá, že nejvíce zmetků bylo zapříčiněno špatným ohybem a špatnou délkou dílu, následně prototypovým odpadem a vadami, které měly menší význam.





**Obrázek 6.4 Pareto zmetkovosti před započítáním SPC pro regulaci tvaru**

V následujícím grafu (obrázek 6.5) z prvního čtvrtletí letošního roku 2013 vidíme, že pareto zmetků se již kompletně změnilo. Největší zastoupení zmetků představuje tzv. destruktivní test, což je pravidelná kontrola kvality svaru, kdy se musí jeden kus z kontejneru zničit pro proměření pevnosti svaru. Na druhém místě ve zmetkovitosti jsou kusy před získáním green tag (kusy po změně verze do získání prvního dobrého kusu). Tato zmetkovitost vychází ze špatného technického řešení stroje, které v začátcích výroby výrobní dávky způsobuje velkou zmetkovitost. Další problémy jsou spojeny s kvalitou svaru a s programovými chybami PLC. Poměr zmetků na odchylku od požadovaných rozměrů, hlavně délky a ohybu, je již minimální.



**Obrázek 6.5 Pareto po implementaci regulace**

Bohužel se nedá prověřit jaký vliv mělo doposud používané SPC na snížení prostojů na svařovacích robotech, jelikož začátek svařování je plánován až na poslední čtvrtletí letošního roku 2013.

Přesné zhodnocení nákladů použitých na regulaci procesu nebylo vedením společnosti poskytnuto ke zveřejnění. Nicméně nejvyšší náklady byly vynaloženy na plat SPC operátora, který byl přítomen po celou dobu výroby, kvůli sběru dat a na výrobu součástí potřebných pro zlepšení procesu, které byly vyráběny interně.

## 7 Závěr

Projekt statistické regulace procesu přinesl našemu podniku hlubší porozumění procesu výroby profilových dílů, což má za následek zrychlení přenosu informací mezi mateřskou společností v Americe a naším podnikem v Plzni. Docílilo se zlepšení v místech (pomocí návodů), kde se mateřská společnost spoléhala na zkušenosti operátorů, které bohužel v plzeňské firmě chyběly, protože žádný český operátor před tím neměl zkušenosti s rollformingem. Dříve se linka nastavovala na základě pouhého odhadu bez použití metodik, což vedlo k nepřesným nastavením. Dnes jsou nastavena pravidla, která se musí striktně dodržovat a každý operátor musí absolvovat několik školení.

Výroba se značně stabilizovala i přes to, že se v procesu stále objevují zvláštní příčiny, což je ale běžnou součástí SPC. Jestliže se provede zlepšení, následně je zapotřebí opět přepočítat regulační limity a pokračovat v cyklu neustálého zlepšování. Všechna zlepšení, která jsou popsána v práci, jsou generická a dají se použít pro zlepšení procesu formování všech nárazníků B profilů naší technologií. Zvláštní příčiny, které jsou specifické pro jednotlivé projekty, vyžadují bližší individuální přístup.

Začátek svařování na robotech je plánován až na poslední čtvrtletí aktuálního roku 2013. Z tohoto důvodu se dá pouze předpokládat, že zlepšení procesu přinese požadované zvýšení efektivity využití těchto strojů. Aktuálně se dají posoudit výsledky práce pouze na podílu zmetkovitosti z objemu výroby na přidělené lince.

V průběhu období od započetí regulace zaznamenáváme klesající tendenci; z výchozích 19% zmetků za první čtvrtletí roku 2012 jsme se dostali na celkovou zmetkovitost za celý rok na 9,5% zmetků. Oproti loňskému roku se zmetkovitost výrazně snížila na 3,21% (výsledky do května 2013). Toto zlepšení jsou zásluhou regulace procesu, ale také zvýšením disciplíny a organizace výroby. I tato zlepšení se dají detekovat v regulačních diagramech.

## 8 Literatura

- [1] Bill Andrews; Statistical process control – Implementation workshop,2012
- [2] Bc. Ondřej Šimek ; Systém monitorování výrobního procesu,2010
- [3] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Index\\_zp%C5%AFsobilosti\\_procesu](http://cs.wikipedia.org/wiki/Index_zp%C5%AFsobilosti_procesu), 2.1.2013
- [4] Česká společnost pro jakost;Statistická regulace výrobního procesu (SPC), 2006

## **9 Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Ilustrační výkres dílu

Příloha č. 2 – Pracovní instrukce pro zapisování do regulačních diagramů

Příloha č. 3 – Návod pro nastavení twistu

Příloha č. 4 – Návod pro nastavení ohybu(sweep)