

Prípadová štúdia: Implementácia SIX SIGMA koncepcie v procesoch nábytkárskej výroby

Implementáciu Six Sigma s využitím niektorých nástrojov v rámci DMAIC stručne ilustrujeme na prípadovej štúdii v konkrétnych procesoch výroby nábytkárskeho podniku. Nepriaznivú situáciu v oblasti výkonnosti procesov, vysoký počet nezhodných výrobkov a reklamácii od zákazníkov sa rozhodol podnik riešiť implementáciou Six Sigma, ktorá by mala zabezpečiť zlepšenie parametrov procesov a zlepšenie vzniknutej situácie.

Implementácia SIX SIGMA KONCEPCIE s využitím krokov DMAIC

Fáza DEFINE - definovať

Vo fáze *definovať* bol na základe analýzy nezhodných výrobkov stanovený problém, ktorý bolo potrebné riešiť. V charte projektu bol sformulovaný *cieľ projektu* v presných číslach, stanovené termíny pre implementáciu riešenia a termíny predpokladaného trvania jednotlivých fáz. Stanovené boli predpokladané obmedzenia, ako napríklad vymedzenie percenta pracovného času zamestnancov, ktorý bude potrebný na realizáciu projektu. Do predpokladov bolo navrhnuté prijatie každého rozumného návrhu pre zlepšenie procesu. V smerniciach tímu bol uvedený vopred dohodnutý presný čas stretnutí tímu. Presne bolo zadefinované zloženie projektového tímu, pretože od plánu činnosti členov tímu a ich organizácie pracovného času závisela úspešnosť projektu. V predbežnom projektovom pláne bol navrhnutý konkrétny rozpis výkonu činností na členov tímu, termíny ich plnenia, kontroly a revízií, ako aj rozpis plnenia nápravných opatrení. Jednoducho a presne definovaný projektový plán vytvoril základ pre zjednodušenie administratívy pri jeho riešení.

Analýzou zdrojových údajov pri výrobe 18 230 ks dielcov boli zistené výsledné priemerné hodnoty DPMO, efektívnosti a úrovne sigmy vybraných procesov spoločnosti ako sú lisovanie, olepovanie bočných plôch, povrchová úprava, spájanie a manipulácia. Najhoršie hodnoty sa dosiahli v procese lisovanie, v ktorom podľa DPMO pripadlo 107 536,58 nezhôd na milión príležitostí, výstupný výnos procesu lisovanie bol vyjadrený priemernou hodnotou efektívnosti 89,27 % a priemernou úrovňou sigma s hodnotou 2,7. Tento proces bol na základe výsledkov analýzy označený *za kritický*. Ostatné procesy vykazovali efektívnosť cez 99 % a hodnoty úrovne sigma od 4,1 do 4,7.

Podnik si za prioritu stanovil úsporu nákladov na nezhody o 10 % a zvýšenie úrovne sigma kritického procesu z 2,75 na 2,85. Zníženie počtu nezhôd a tým aj následné zvýšenie spokojnosti zákazníkov bolo považované za prioritný prínos.

Vo fáze **Define** boli využité nástroje a metódy:

- Výpočet DPMO, efektívnosti a úrovne sigma
- Charta projektu (project charter)
- Histogram chýb spôsobených pri nanášaní lepidla
- SIPOC – mapa procesu lisovania

Tabuľka 1 Charta projektu

CHARTA PROJEKTU (PROJECT CHARTER)						
Názov projektu		Redukcia nezhodných výrobkov zníži náklady na nezhody o 10 %				
Názov procesu		Yellow Belt	Green Belt	Black Belt	Master Black Belt	Champion (vedúci tímu)
LISOVANIE		Operátor - lis	Majster strediska lisovanie	Vedúci výroby	Inžinier špecialista	Riaditeľ pre kvalitu
Dátum začiatku projektu	Dátum skončenia etáp projektu	Definovať (Define)	Merat' (Measure)	Analyzovať (Analyze)	Zlepšovať (Improve)	Riadiť (Control)
		01.03.2020	30.03.2020	31.08.2020	30.09.2020	30.11.2020
Súvislosti problému		Nezhodné dielce v procese lisovania súvisia s nánosom lepidla.				
Identifikácia problému		Počet nezhodných dielcov v procese lisovanie je 5 875 ks z lisovacej linky č. 1. efektivita DPMO, náklady. Činnosti sú vykonávané automatizovane, zamestnanec ovplyvňuje nastavenie nánosov lepidla.				
Rozsah projektu (až po zmenách v procese)						
Začiatok procesu		Včítane		Koniec procesu		Poznámky
Definícia cieľa		Metódy		Súčasná úroveň		Cieľová úroveň
1. Zníženie počtu nezhodných dielcov		Analýza nezhôd, DPMO, efektívnosť, úroveň Sigma		Six Sigma 2,75		Six Sigma 2,85
2. Zníženie nákladov na nezhodné dielce o 10 %				26 %		10 %
Prínosy		Finančné		Zákaznícke		Iné
		Úspora nákladov na nezhody v €.		Zvýšenie efektivity a úrovne sigma procesu lisovania znížením počtu nezhôd		Zvýšenie spokojnosti interných a externých zákazníkov
Obmedzenia organizačného zabezpečenia pracovných povinností zamestnancov		10 % pracovného času				
Predpoklady pre zlepšenie		Každý rozumný návrh pre zlepšenie súčasného procesu, ktorý bude výsledkom brainstormingu sa bude brať do úvahy. Nové návrhy procesov nebudú akceptované.				
Smernice tímu (čas strenutí tímu)		Stretnutia tímu sa uskutočnia 1x týždenne po operatívnej porade, v pondelok o 9,30 hod. s prihliadnutím na plynulé zabezpečenie chodu výroby. Určenie termínu má v plnej kompetencii riaditeľ pre kvalitu.				
Zloženie tímu						
Kouč		Členovia tímu				
Podpora				Riziká		
				Druh		Aktivita na odstránenie rizika
				Akceptovateľné		normálna pozornosť
				Tolerovateľné		monitoring
				Materiálne		prijatie nápravných opatrení
				Neakceptovateľné		okamžité vykonanie nápravných opatrení

Fáza Measure - merať

Základom pre plánovanie úrovni Six Sigma bolo získanie relevantných informácií o procese a to meraním kľúčových ukazovateľov kvality, ktoré sledujú variabilitu. Pokiaľ je známa variabilita procesu pre konkrétny parameter a je nám taktiež známa požiadavka, ktorá je spravidla vyjadrená šírkou tolerančného poľa vyjadrená rozdielom hornej (UTL) a dolnej (LTL), vieme túto skutočnosť vyjadriť číselne prostredníctvom koeficientov spôsobilosti.

Plán merania v rámci aplikácie a implementácie metodiky Six Sigma

Prvým krokom pri zostavovaní plánu merania v rámci aplikácie a implementácie metodiky Six Sigma podľa Pande - Neuman - Cavanagh (2002) boli stanovené na základe výsledkov analýzy nezhodných výrobkov, ktorej výsledkom boli hodnoty DPMO, efektívnosti procesu v % a úrovne sigma v procesoch lisovanie, olepovanie bočných plôch, povrchová úprava, spájanie a manipulácia otázky týkajúce sa podstaty merania t. j. **čo budeme merať a čo chceme meraním doceliť**. Variabilita kritického procesu bola vyjadrená hodnotou sigma 2,74. Príčinou vysokej hodnoty nezhodných výrobkov bol nerovnomerný nános lepidla na dielci, čo spôsobovalo vysoký počet nezhôd na výstupe z procesu lisovania. Odpoveď na otázku „ Čo budeme merať ?“ bola **hmotnosť nánosu lepidla v g**. Cieľom merania bolo dosiahnuť **zníženie variability procesu lisovanie - operácie nanášanie lepidla** s výstupom kvalitných dielcov a s nízkym výskytom nezhôd.

Druhý krok bol zameraný na **definovanie konkrétneho znaku kvality** a to **hmotnosti nánosu lepidla** na jednej strane dielca v g, ktorá bola následne prepočítaná na g/m^2 . Menovitá hodnota znaku kvality podľa technických podmienok a procesnej schémy lisovania pre zosadenky dub bola $52g/m^2$ s odchýlkou $\pm 4g/m^2$. Horná tolerančná hodnota USL = $56g/m^2$ a dolná tolerančná hodnota LSL = $48g/m^2$. Proces lisovania sa uskutočňoval na synchronizovanej linke. Hlavnými zariadeniami linky boli nanášačka lepidla typ Burkle DAK 1400 a lis typ Burkle 11176-350. Prídavnými zariadeniami v linke boli nakladač DTD, disková dráha, upínacie vidly, nakladače zosadenky, stohovacie zariadenie, dopravné pásy a dopravníky. Uvedené zariadenia s technickými parametrami boli využité na vypracovanie procesnej schémy lisovania. Výrobným zariadením, ktorého **spôsobilosť** bola skúmaná bola **nanášačka lepidla**. Na uvedenom stroji sa vyskytol najväčší počet nezhôd. Ďalším krokom prípravy merania bolo **získovanie, ako získať údaje o kvalitatívnom znaku** - hmotnosti nánosu lepidla. Vzhľadom k tomu, že proces bol vytypovaný na základe analýzy nezhôd a bolo potrebné získať aktuálne údaje pre výpočet koeficientov spôsobilosti, jediný spôsob ich získania bolo meranie. Pri zbere dát bola nápomocná obsluha výrobného zariadenia, bez ktorej by sa zber údajov z pohľadu obsluhy a bezpečnosti práce nemohol uskutočniť. Na zber dát boli použité vopred vypracované formuláre.

Pre oblasť výskumu bolo potrebné zhromaždiť základné technologické špecifikácie nevyhnutné pre následné výpočty výkonu výrobných zariadení a to sú nanášačka lepidla a lis.

Technologické parametre pre nanášačku lepidla:

- **nános lepidla pre dyhu buk** je podľa interného technologického predpisu $52g/m^2 \pm 4g/m^2$. Kontrola nánosu lepidla sa vykonáva meraním na elektronických váhach.
- **teplota nanášacích valcov**, ktorá je v rozpätí od 2 do 4 °C podlieha vizuálnej kontrole.

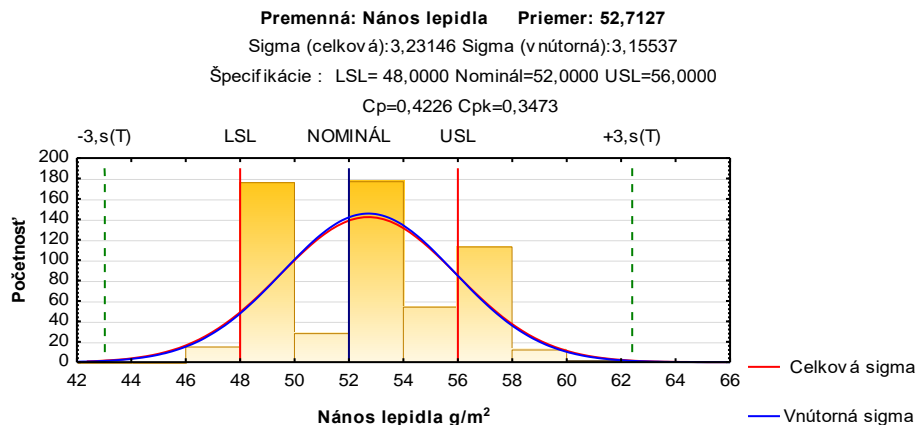
V súčasnosti firma používa lepidlo Rakoll 4330-Fuller.

V návrhu aplikácie a implementácie metodológie Six Sigma boli namerané hodnoty hmotností nánosov lepidla použité na zistenie variability procesu lisovanie - nanášanie lepidla prostredníctvom koeficientov spôsobilosti. Prvým koeficientom bol index spôsobilosti C_p ako ukazovateľ potenciálnej spôsobilosti procesu, ktorý charakterizuje rozptyl procesu. Druhým koeficientom bol kritický index spôsobilosti C_{pk} , ktorý ako ukazovateľ aktuálnej, skutočnej spôsobilosti procesu charakterizuje aj jeho polohu vo vzťahu k definovanému tolerančnému

poľu. Pri zadávaní špecifikácií do programu Statistica CZ, boli okrem zdrojových údajov zadefinované horná tolerančnú hranicu (USL) hmotnosti nánosu lepidla 56 g/m^2 a dolná tolerančnú hranicu (LSL) hmotnosti nánosu lepidla 48 g/m^2 . Výstupom programu bol výpočet koeficientov C_p a C_{pk} a grafické zobrazenie intervalového rozdelenia početnosti hmotností nánosov lepidla. Pre výpočty bol použitý modul Popisnej štatistiky a modul Priemyselná štatistika &Sigma - Analýza procesov.

Vyhodnotenie výsledkov meraní

Priemerné hodnoty hmotnosti nánosov lepidla v 12 súboroch meraní a pri 576 vzorkách sa pohybovali v rozpätí od $51,44 \text{ g/m}^2$ do $53,23 \text{ g/m}^2$. V rámci meraní sa vyskytla minimálna hodnota nánosu lepidla $46,26 \text{ g/m}^2$ a maximálna hodnota $60,50 \text{ g/m}^2$. Prekročenie dolnej tolerančnej hranice 48 g/m^2 sa vyskytlo v 16 prípadoch a to v intervale od $46 - 48 \text{ g/m}^2$. Hodnoty hmotností prekročili napríklad v intervale od $56 - 58 \text{ g/m}^2$ hornú tolerančnú hranicu až v 138 prípadoch. V intervale $58 - 60 \text{ g/m}^2$ bola prekročená horná tolerančná hranice v 15 prípadoch a v jednom prípade v intervale od $60 - 62 \text{ g/m}^2$. Pre názornosť uvádzame výstup modulov štatistík pre meranie hmotnosti nánosu lepidla - obrázok č.1



Obrázok č.1 Histogram rozdelenia početnosti hmotností nánosu lepidla

Zdroj: vlastné spracovanie

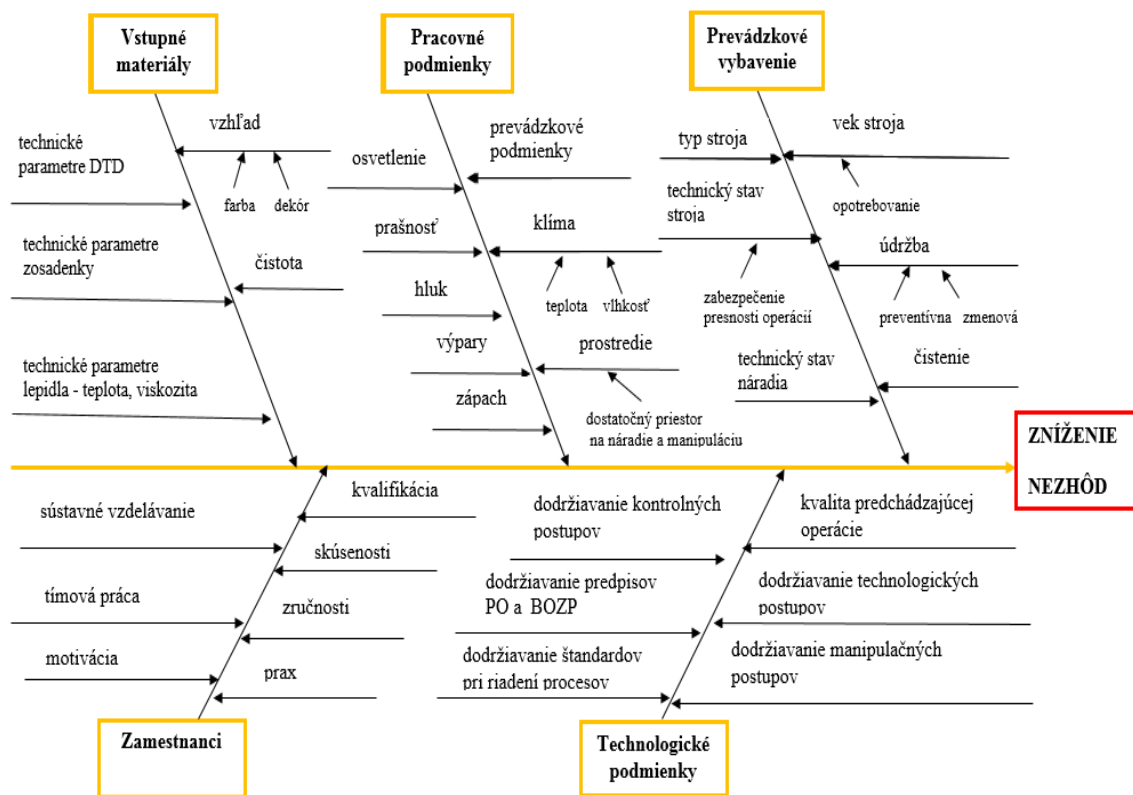
Hrebeňový tvar histogramu naznačuje, že variabilita procesu je vysoká a nie je spôsobená prirodzeným kolísaním variability v procese. Hodnoty koeficientov spôsobilosti sú taktiež nízke, celkový koeficient C_p má hodnotu $0,4226$ a celkový koeficient $C_{pk} = 0,3473$. Obidva koeficienty sú menšie ako 1, preto môžeme na aj na základe súhrnných výsledkov konštatovať, že **výrobný proces nie je spôsobilý**. Ďalej môžeme poukázať na tú skutočnosť, že koeficient $C_p > C_{pk}$, čo znamená, že proces nie je centrován v strede tolerančného intervalu a reaguje na vychýlenie skutočnej strednej hodnoty procesu μ od stredu tolerančného intervalu. Na základe uvedených skutočností môžeme vysloviť záver, že v procese sa vyskytujú vymedziteľné, systematické príčiny.

Vo fáze **Merat'** boli využité nástroje a metódy: koeficienty spôsobilosti procesu C_p a C_{pk} , sigma procesu, histogram, Priemyselná štatistika &Sigma

Fáza Analyze - analyzovať

Na základe záverov z fázy Measure bol vo fáze Analyze hlavný dôraz kladený na identifikáciu hlavného problému, usporiadanie možných príčin a identifikáciu príčin nezhôd, ktoré spôsobili variabilitu procesu lisovanie - nanášanie lepidla. Metóda braistormingu bola využitá pri interpretácii analyzovaných údajov z meraní, stanovení konkrétneho problému, usporiadania možných príčin problému a pri tvorbe Ishikawovho diagramu. V prvej fáze boli stanovené príčiny prvého stupňa, ktoré boli následne rozčlenené na príčiny druhého a tretieho

stupňa. Prvý stupeň vzniku možných príčin bol definovaný vstupným materiálom, pracovnými podmienkami, prevádzkovým vybavením, zamestnancami a technologickými podmienkami. Pri vstupných materiáloch bolo zistené, že by sa mal klásť zvýšený dôraz na kontrolu technických parametrov lepidla - ako sú teplota a viskozita. Uvedené parametre primárny vplyv na hmotnosť nánosu lepidla na dielce z DTD. Vplyv nedodržania technických parametrov DTD a zosadenky sa počas meraní výrazne neprejavil. Pri sledovaní vzniku nezhôd boli zistené nedostatky v dodržiavaní technologickej disciplíny obsluhou nanášačky lepidla, hlavne pri nastavovaní nánosov lepidla. Nízky nános lepidla spôsobil tzv. suché miesta a obsluha, aby sa vyhla tejto chybe pri nanášaní lepidla nastavovala nános lepidla, ktorý prekračoval hornú tolerančnú hranicu. Uvedený problém vznikol aj z dôvodu prechodu na iný typ lepidla, s ktorého napeňovaním sa znižovala sa hmotnosť z 82 g/m² na 52 g/m². Návrh Ishikawovho diagramu, ktorý zobrazuje dekompozíciu príčin prvého stupňa na príčiny druhého a tretieho stupňa je zobrazený na obrázku č.2.



Obrázok č. 2 Ishikawov diagram dekompozície príčin nezhôd

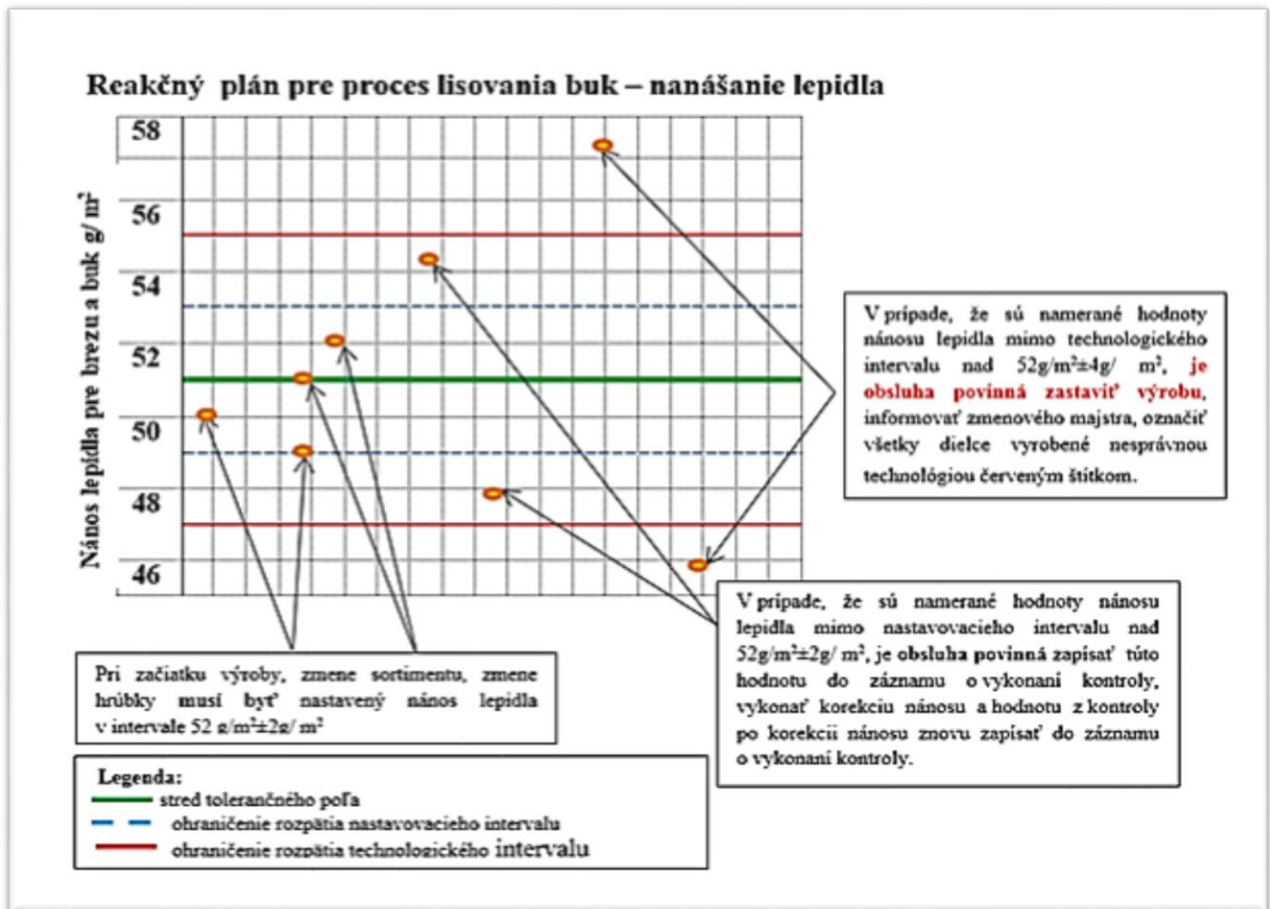
Zdroj: vlastné spracovanie

Vo fáze Analyze boli využité nástroje a metódy: brainstorming, Ishikawov diagram, Priemyselná štatistika & Sigma - Analýza procesov.

Fáza Improve - zlepšovať

Pre zvýšenie výkonnosti procesu na základe záverov z fáz Measure a Analyze bolo hlavným cieľom fázy Improve vypracovanie a realizácia návrhu opatrení tzv. reakčného plánu pre proces lisovanie - nanášanie lepidla. Reakčný plán obsahuje grafické znázornenie umiestnenia hodnôt hmotností nánosu lepidla v jednotlivých pásmach regulačného diagramu a postup činností, ktoré má vykonávať obsluha pri nastavovaní, meraní, kontrole

a odovzdávaní informácií. Návrh reakčného plánu pre proces lisovania je uvedený na obrázku č. 3.



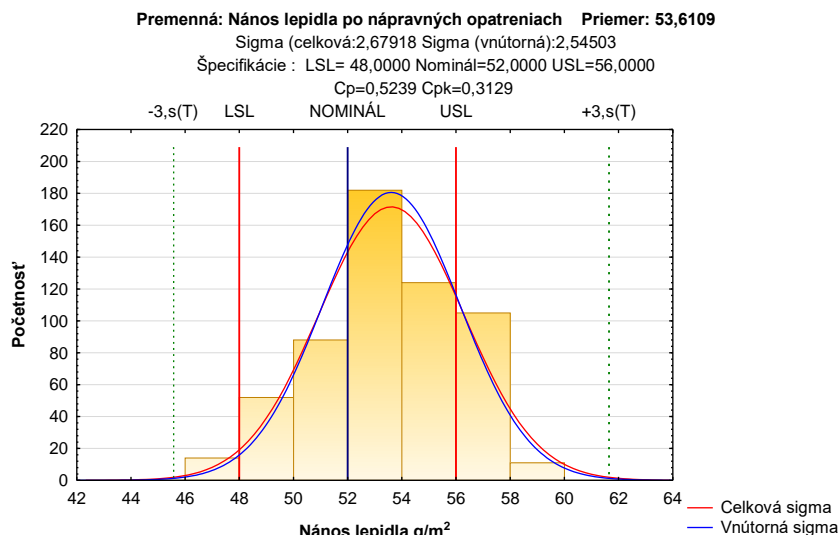
Obrázok č.3 Návrh reakčného plánu pre proces lisovanie

Zdroj: vlastné spracovanie

Na základe pokynov uvedených v reakčnom pláne boli s odstupom času vykonané merania v rámci verifikácie opatrení na zníženie nezhôd z dôvodu nekvalitného nanášania lepidla v kritickom procese lisovanie – nanášanie lepidla.

Vyhodnotenie výsledkov meraní po zavedení nápravných opatrení

Po zavedení nápravných opatrení sa pohybovali priemerné hodnoty hmotnosti nánosov lepidla v 20 súboroch meraní a pri 100 vzorkách od 52,14 g/m² do 53,03 g/m². V rámci meraní sa vyskytla minimálna hodnota nános lepidla 46,48 g/m² a maximálna hodnota 59,48 g/m². Prekročenie dolnej tolerančnej hranice 48 g/m² sa vyskytlo v 17 prípadoch a to v intervale od 46 – 48 g/m². Hodnoty hmotností prekročili napríklad v intervale od 56 - 58 g/m² hornú tolerančnú hranicu až v 108 prípadoch, čo je o 21,18 % menej ako sa vyskytovali pred nápravnými opatreniami . V intervale 58 – 60 g/m² bola prekročená horná tolerančná hranice v 12 prípadoch a hodnoty v intervale od 60 – 62 g/m² sa už nevyskytli vôbec. Pre názornosť uvádzame výstup modulov štatistík pre meranie hmotnosti nános lepidla - obrázok č. 4



Obrázok č.4 Histogram rozdelenia početnosti hmotností nános lepidla po nápravných opatreniach

Zdroj: vlastné spracovanie

Na prvý pohľad má histogram zvonovitý tvar, čo by naznačovalo, že variabilita procesu sa znížila oproti pôvodnému stavu. V skutočnosti je histogram asymetrický, pretože jeho vrchol je posunutý smerom k hornej regulačnej hranici, čo znamená, že na proces ešte stále pôsobia výkyvy spôsobené prirodzeným kolísaním variability. Hodnoty hmotností nános lepidla sa pohybovali v rozpätí od 46,23 g/m² do 59,98 g/m², čo je pozitívne.

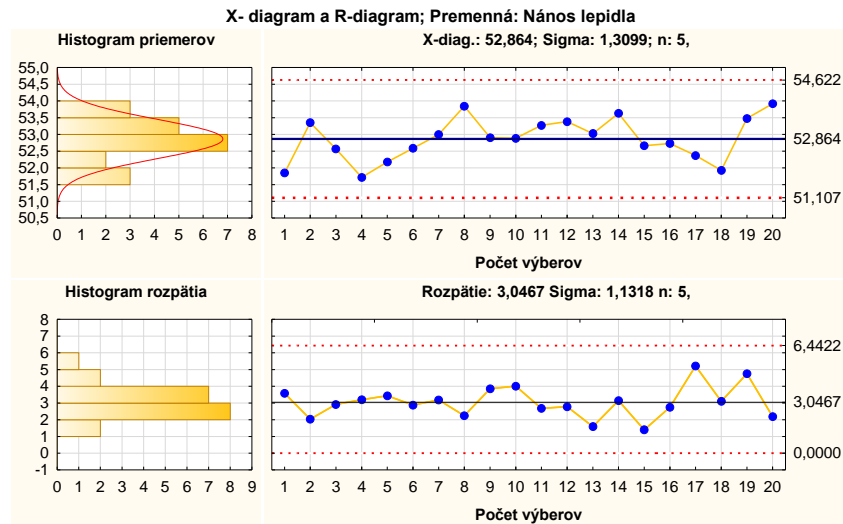
Hodnoty koeficientov spôsobilosti sa zvýšili, celkový koeficient C_p má hodnotu 0,5239 a celkový koeficient $C_{pk} = 0,3129$. Obidva koeficienty vykazujú vyššie hodnoty oproti pôvodnému stavu, ale stále sú menšie ako 1. Na základe uvedených súhrnných výsledkov konštatovať, že **výrobný proces nie je ešte spôsobilý** a vyskytujú sa v ňom vymedziteľné, systematické príčiny. Ďalej môžeme poukázať na tú skutočnosť, že koeficient $C_p > C_{pk}$, čo znamená, že proces nie je centrován v strede tolerančného intervalu a reaguje na vychýlenie skutočnej strednej hodnoty procesu μ od stredu tolerančného intervalu a to smerom k hornej regulačnej hranici. Proces ešte stále produkuje nezhodné výrobky, vyskytujú sa v ňom vymedziteľné, systematické príčiny, ktoré bude potrebné ďalej analyzovať a v ďalšom štádiu zlepšovania eliminovať alebo odstrániť. Po zavedení reakčného plánu sa pri kontrolnom meraní vyskytli prekročenia hornej a dolnej regulačnej hranice, ale viac hodnôt z meraní osciluje okolo centrálnej priamky a hornej regulačnej hranice. Z uvedeného vyplýva, že nie sú obsluhou dodržiavané všetky opatrenia z reakčného plánu a to konkrétne nastavenie nános lepidla.

Vo **fáze Improve** boli využité nástroje a metódy: *brainstorming*, *Ishikawov diagram*, koeficienty spôsobilosti procesu C_p a C_{pk} , *sigma procesu*, *histogram*, *Priemyselná štatistika & Sigma*.

Fáza Control - Riadiť

V procese výroby nábytkových dielcov bolo podstatné dosiahnuť nános lepidla podľa technologického predpisu 52 g/m² s odchýlkou ± 4 g/m², čo v našom prípade predstavovalo regulovanú veličinu. Vzhľadom k tomu, že regulované veličiny boli merané v spojitej stupnici, použili sme na reguláciu vo fáze Control na ilustráciu dvojicu regulačných diagramov. Jeden graf charakterizuje polohu regulovanej veličiny – strednej hodnoty (priemeru) a druhý sa používa na reguláciu variability regulovanej veličiny prostredníctvom regulácie rozpätia a smerodajnej odchýlky. Pri kontrolnom meraní sme určili počet podskupín t. j. počet výberov $k = 20$. Následne bol určený kontrolný interval t. j. konštantný časový interval medzi dvoma po sebe idúcimi výbermi sme stanovili na základe technologických obmedzení každých 20

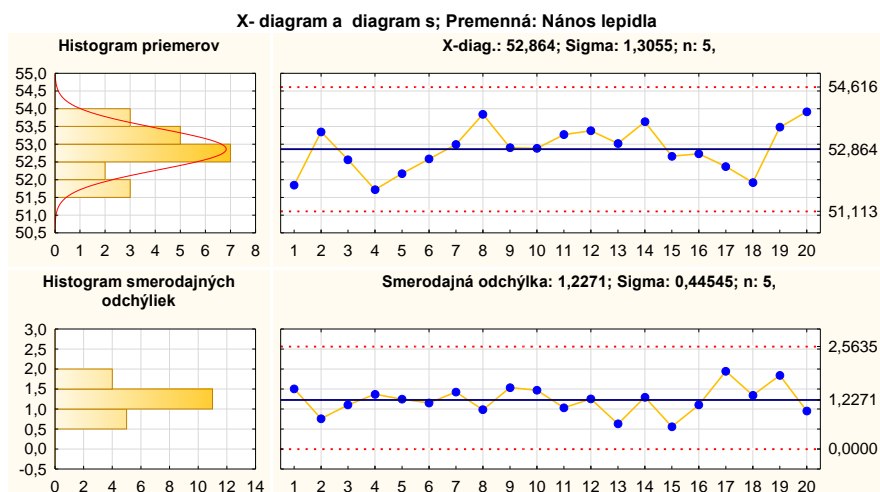
minút. Stanovený bol rozsah podskupín t. j. veľkosť výberu $n = 5$, ktoré predstavovali počet kontrolovaných výrobkov v jednej podskupine k . Celkovo bolo uskutočnených 100 meraní. V procese boli zabezpečené potrebné podmienky pre reguláciu a to nemennosťou všetkých známych vplyvov, ako aj vybavenie pracoviska a školenie zamestnancov. Pre výpočty bol použitý modul Popisnej štatistiky a modul Priemyselná štatistika & Sigma – Diagramy riadenia kvality.



Obrázok č. 5 Regulačné diagramy priemeru a rozpätia pre regulovanú veličinu – nános lepidla

Zdroj: vlastné spracovanie

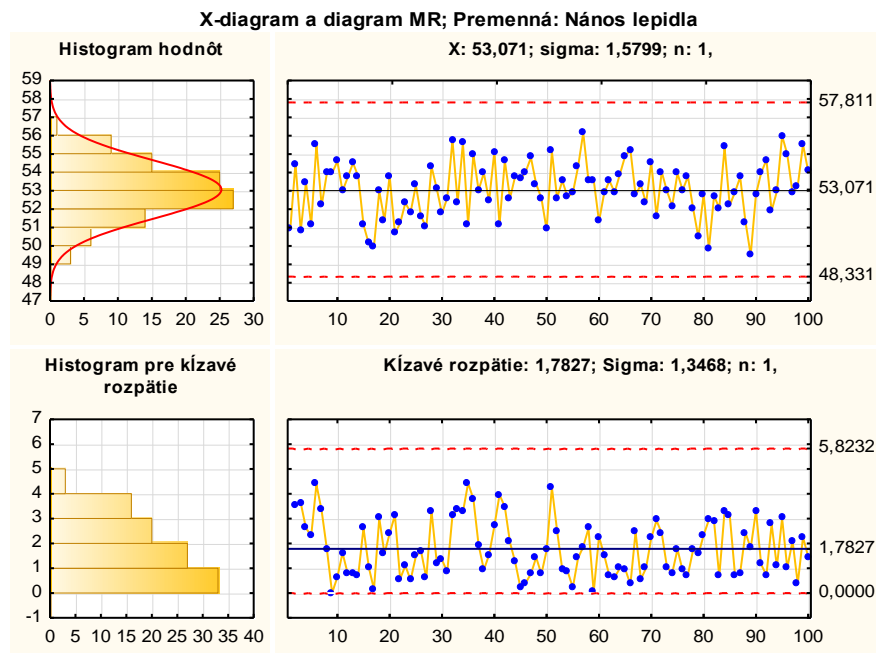
Z regulačného diagramu priemeru a rozpätia pre regulovanú veličinu – nános lepidla vyplýva, že namerané hodnoty sa nenachádzajú mimo regulačných hraníc príslušného regulačného diagramu. V tomto prípade je možné prijať predpoklad, že proces je stabilný a vypočítané regulačné hranice je možné používať v štatistickej regulácii danej regulovanej veličiny.



Obrázok č.6 Regulačné diagramy priemeru a smerodajnej odchýlky pre regulovanú veličinu – nános lepidla

Zdroj: vlastné spracovanie

Z regulačného diagramu smerodajnej odchýlky je možné vidieť, že priemerná hodnota smerodajnej odchýlky je 1,2271 a ostatné hodnoty sa pohybujú v rozpätí od 0,5 – 2 a nepresahujú regulačné hranice, čo potvrdzuje predpoklad, že proces je stabilný.



Obrázok č.7 Regulačné diagramy priemeru a individuálnych hodnôt pre regulovanú veličinu – nános lepidla

Zdroj: vlastné spracovanie

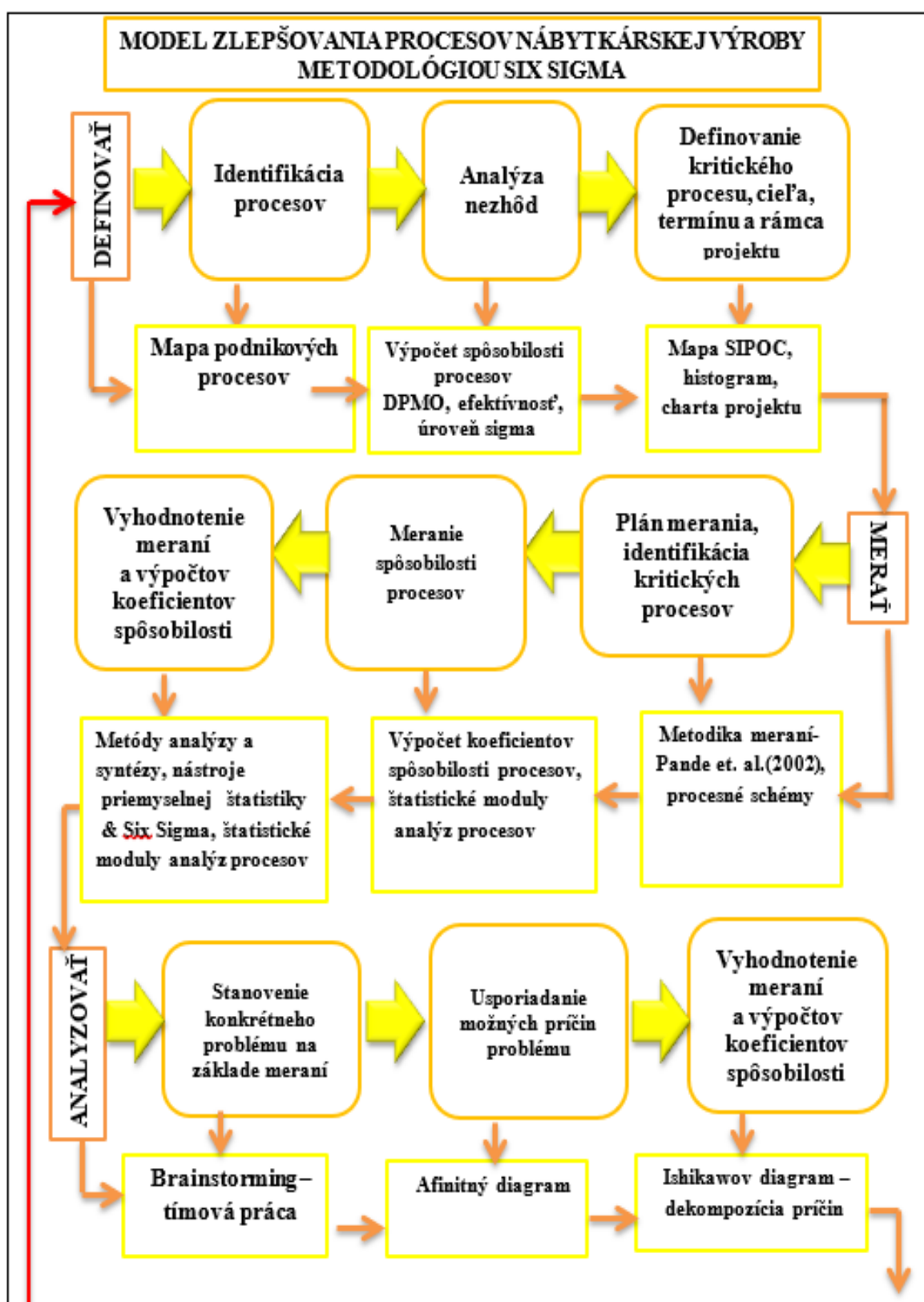
Pre detailnejšie vyhodnotenie situácie bol zvolený rozsah výberu $n = 1$ a bola využitá možnosť použitia regulačného diagramu individuálnych meraní. V tomto prípade bol použitý regulačný diagram individuálnych hodnôt s regulačným diagramom kízavých rozpätí. Z regulačného diagramu kízavého rozpätia ako rozdielu hodnôt dvoch po sebe nasledujúcich meraní je zrejmé, že priemerná hodnota je 1,7827 a najpočetnejšiu skupinu tvorí rozsah od 0 – 1. Tento diagram by bolo vhodné použiť viac v prípade, že by bola v procese aplikovaná automatická kontrola a merania a merala by sa regulovaná veličina pri každom výrobku, čo by bolo ekonomicky a časovo náročné.

Vo fáze **Control** boli využité nástroje a metódy:

- Regulačné diagramy
- Priemyselná štatistika & Sigma

Záver

Výsledkom prípadovej štúdie bol návrh Modelu zlepšovania procesov nábytkárskej výroby s využitím koncepcie Six Sigma podľa krokov DMAIC, ktorý je uvedený na obrázku č. 8.



Obrázok č. 8 Model zlepšovania procesov nábytkárskej výroby metodológiou Six Sigma

Zdroj: vlastné spracovanie

Pokračovanie obrázka č. 8 Model zlepšovania procesov nábytkárskej výroby metodológiou Six Sigma

