

Návrh

Pracovní postup

DCWI XXXXX-XXX

Analýza způsobilosti hydraulického zkušebního standu

Datum: Vyberte datum
 Odpověd. Odd.: DC-IH-Brn/QMM
 Reference: -
 Refer. vydání: YYYY-MM

Postup provedení a vyhodnocení studie způsobilosti

První vydání

Obsah

	Strana
1 Cíl	2
2 Oblast působnosti	2
3 Popis	2
4 Přípravná fáze	3
4.1 Definice testovaných parametrů, přiřazení tolerancí a stanovení požadovaných hodnot ukazatelů způsobilosti.....	3
4.2 Kontrola Výkonnostního poměru senzorů – Q_{MS}	4
5 Analýza výkonosti stroje (P_m, P_{mk})	5
5.1 Sběr dat	5
5.2 Ověření normality dat	5
5.3 Vyhodnocení ukazatelů P_m , P_{mk}	6
6 Analýza opakovatelnosti měřícího systému (GRR)	8
6.1 Sběr dat	8
6.2 Vyhodnocení ukazatele GRR	9
7 Analýza způsobilosti procesu (C_p, C_{pk})	10
7.1 Sběr dat	10
7.2 Posouzení normality dat.....	10
7.3 Posouzení statistického zvládnutí procesu	11
7.4 Vyhodnocení ukazatelů C_p , C_{pk}	12
Příloha 1: Analýza výkonosti při nedostatečném počtu dílů/měření	14

© Bosch Rexroth AG 2024

DCWI-XXXXX-XXX_AAW_N_CS_YYYY-MM-DD.docx

Cílový jazyk: en Překlad: de → en Odd.: DC...

Zdrojový jazyk: de Datum: 2023-MM-DD Jméno:

V případě pochybností platí vydání v původním jazyce.

Název společnosti	vytvořil	Zkontroloval	Schválil
Bosch Rexroth, spol.s.r.o. Těžební 2, 62700, Brno Česká republika	Odd.: Jméno: David Sechra BWN: xxxx	xxxx	xxx ☒ 2024-xx-xx

1 Cíl

- Cílem tohoto dokumentu je popsat metodický postup pro provádění, a především vyhodnocení analýzy způsobilosti hydraulického zkušebního standu.

2 Oblast působnosti

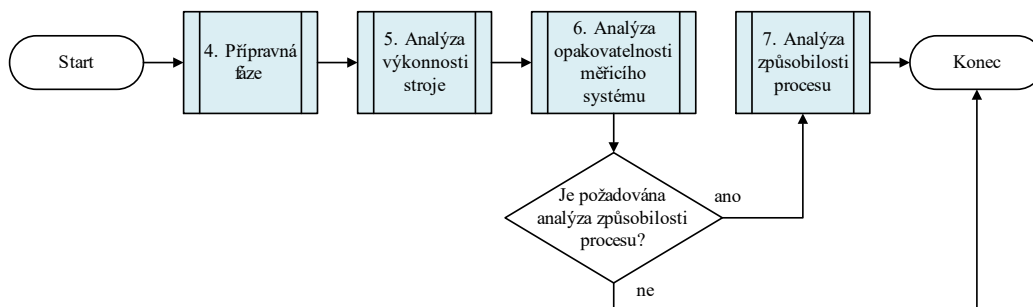
S	Oblasti	Popis
P	DC-IH-Brn	Výrobní závod Brno
Poznámka		
V případě nezbytného zohlednění zákonů specifických pro danou zemi musí být směrnice použita odpovídajícím způsobem.		
<i>Další specifikace pro oblast působnosti:</i>		
Status (S): P = Povinné V = Volitelné N = Neuplatňuje se		

3 Popis

Metodika analýzy způsobilosti hydraulického zkušebního standu je rozdělena do 4 samostatných částí:

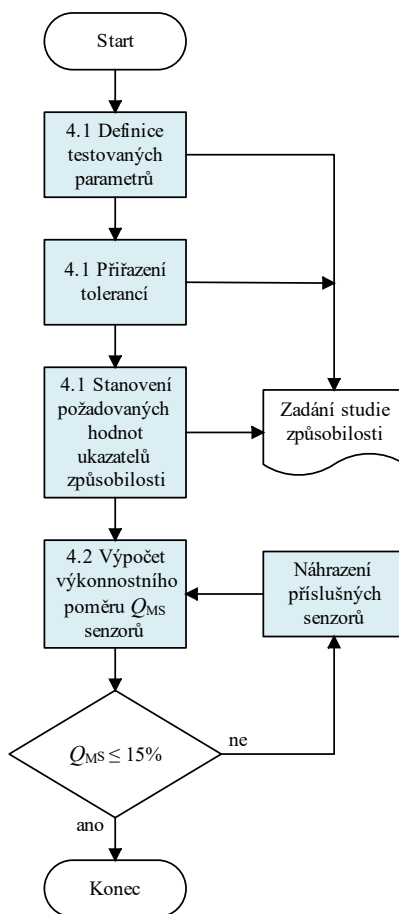
- Přípravná fáze
- Analýza výkonnosti stroje
- Analýza opakovatelnosti měřicího systému
- Analýza způsobilosti procesu (nepovinné)

Číslování částí odpovídá číslování kapitol v tomto dokumentu.



Obrázek 1) Etapy analýzy způsobilosti hydraulického zkušebního standu

4 Přípravná fáze



Obrázek 2) Vývojový diagram – Přípravná fáze

4.1 Definice testovaných parametrů, přiřazení tolerancí a stanovení požadovaných hodnot ukazatelů způsobilosti

1. Definujte vstupní parametry.
2. Definujte výstupní parametry.
3. Ke všem definovaným parametrům přiřadte tolerance.
4. Stanovte minimální hodnoty ukazatelů způsobilosti.

- *Poznámka 1: Definování parametrů by mělo být provedeno s ohledem na funkčnost zařízení.*
- *Poznámka 2: Tolerance by měly být stanoveny na základě tolerancí, které budou využity v provozních testech zařízení. Například pokud budou na testovacím zařízení v provozu testovány čerpadla, kde bude požadavek na průtok při definovaných otáčkách $50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ a tolerance budou stanoveny $48\text{--}50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, pak je vhodné použít stejné tolerance při analýze způsobilosti.*
- *Poznámka 3: U vstupních parametrů se vyhodnocuje P_m , P_{mk} , u výstupních parametrů GRR .*

Tabulka 1) Doporučené hodnoty ukazatelů způsobilosti

Ukazatel Způsobilosti	Hodnota	Status způsobilosti
P_m, P_{mk}	$\leq 1,67$	Nezpůsobilý
P_m, P_{mk}	$> 1,67$	Způsobilý
GRR	$\leq 10 \%$	Způsobilý
GRR	$10\% < GRR \leq 30\%$	Podmíněně způsobilý
GRR	$> 30 \%$	Nezpůsobilý

Tabulka 2) Příklad zadání pro studii způsobilosti

Parametr	Tolerance	Ukazatel způsobilosti	Požadavek na ukazatel způsobilosti
P1 [bar]	0-2	P_m, P_{mk}	> 1,67
Q1 [$l \cdot \text{min}^{-1}$]	48-52	P_m, P_{mk}	> 1,67
P2 [bar]	345-355	GRR	≤ 10 %
Q2 [$l \cdot \text{min}^{-1}$]	48-52	GRR	≤ 10 %

4.2 Kontrola Výkonnostního poměru senzorů – Q_{MS}

- Je potřeba vypracovat pro každý senzor měřícího systému. Výchozí hodnotou je přesnost daného senzoru (MPE), musí být vyjádřena v absolutní hodnotě.

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot k \cdot \text{MPE} \cdot \left(\frac{U+L}{2}\right)}{\sqrt{3} \cdot (U-L)} \cdot 100(\%)$$

Kde: k – koeficient rozšíření
MPE – nejvyšší dovolená chyba (vyjádřena absolutně)
 U – horní mezní hodnota
 L – dolní mezní hodnota

- Poznámka 1: Procentuálně vyjádřenou MPE lze převést na absolutně vyjádřenou například pomocí středu tolerance ($\text{MPE} \cdot (U-L)/2$), nebo více konzervativně pomocí U – horní mezní hodnota ($\text{MPE} \cdot U$).*

Pokud budeme uvažovat $k=2$, pak lze vztah zjednodušit:

$$Q_{MS} = 2,3 \cdot \frac{\text{MPE} \cdot \left(\frac{U+L}{2}\right)}{U-L} \cdot 100(\%)$$

Kde: MPE – nejvyšší dovolená chyba (vyjádřena absolutně)
 U – horní mezní hodnota
 L – dolní mezní hodnota

Maximální přípustná hodnota pro Q_{MS} je 15%.

Pokud hodnota ukazatele Q_{MS} nevyhovuje na základě výpočtu pomocí MPE, lze provést výpočet na základě nejistoty z kalibrace u_{CAL} . Dle ISO 22514-7:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2}$$

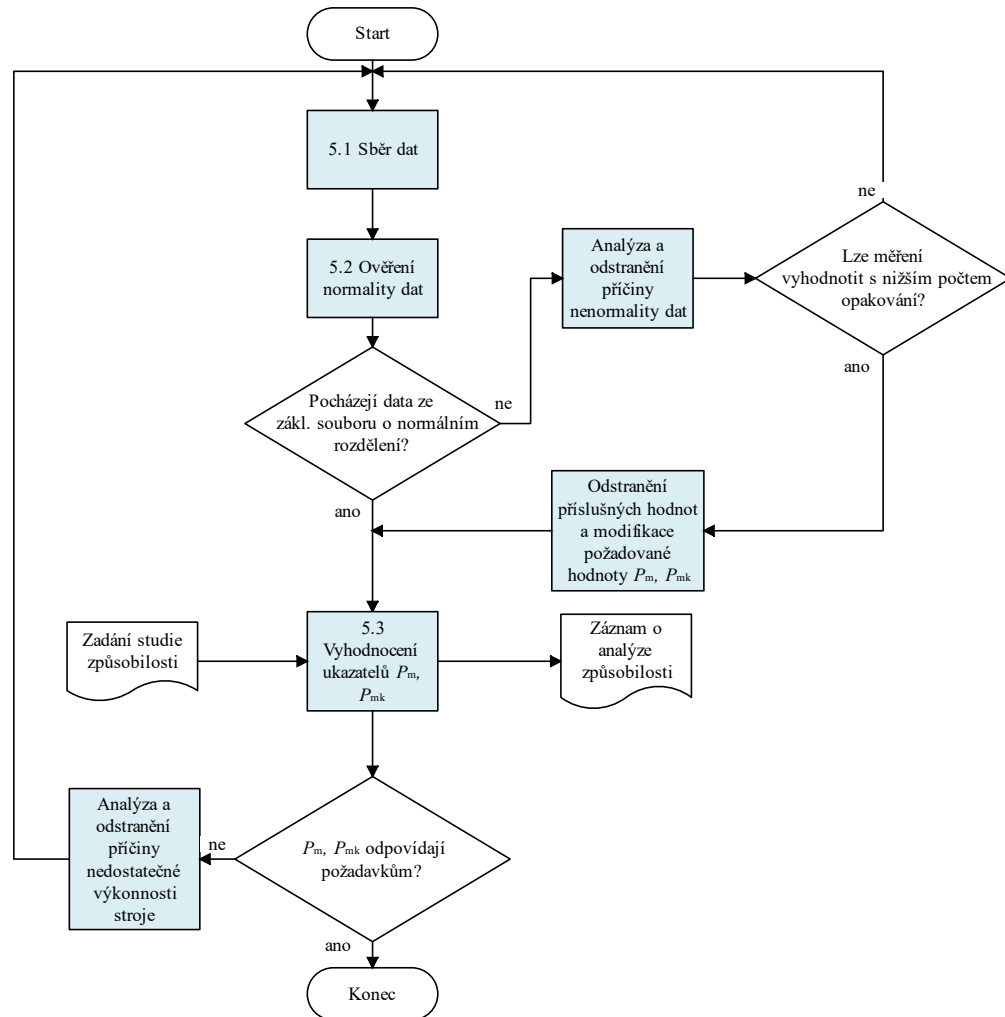
$$u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{RE}\}$$

$$U_{MS} = k \cdot u_{MS}$$

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{U-L} \cdot 100(\%)$$

Kde: u_{CAL} – nejistota způsobená kalibrací na etalonech
 u_{LIN} – nejistota pocházející z linearity
 u_{BI} – nejistota pocházející z vychýlení
 $u_{MS-REST}$ – další složky nejistoty
 $u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{RE}\}$
 u_{EVR} – nejistota pocházející z opakovatelnosti při použití referenčních etalonů
 u_{RE} – nejistota pocházející z rozlišení měřícího systému
 u_{MS} – kombinované standardní nejistoty měřícího systému
 k – koeficient rozšíření
 U_{MS} – rozšířená nejistota měřícího systému
 U – horní mezní hodnota
 L – dolní mezní hodnota

5 Analýza výkonosti stroje (P_m , P_{mk})



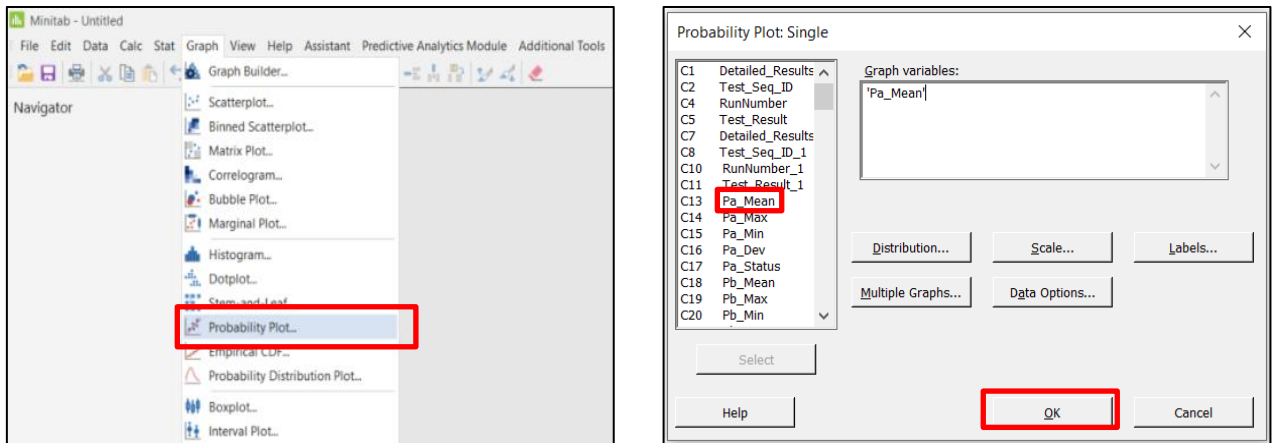
Obrázek 3) Vývojový diagram – Analýza výkonosti stroje

5.1 Sběr dat

1. Ověření vhodnosti senzorů (provedeno v předchozím kroku).
2. 1 kus hydromotor/čerpadlo - 25 (ideálně 50) opakovaných měření.
Poznámka 1: Booklet 9 i ISO 22514-3:2010 požaduje 50 (Ideálně 100)
Poznámka 2: Studie Rig 15 ukázala, že lze použít i menší počet např. 20 a zpřísnit kritéria P_m , P_{mk} – viz Příloha 1.
3. Je potřeba minimalizovat vliv okolních faktorů na měření jako např. kolísání teploty hydraulického média.
4. Musí být zaznamenáno pořadí měření a časové ohraničení studie.

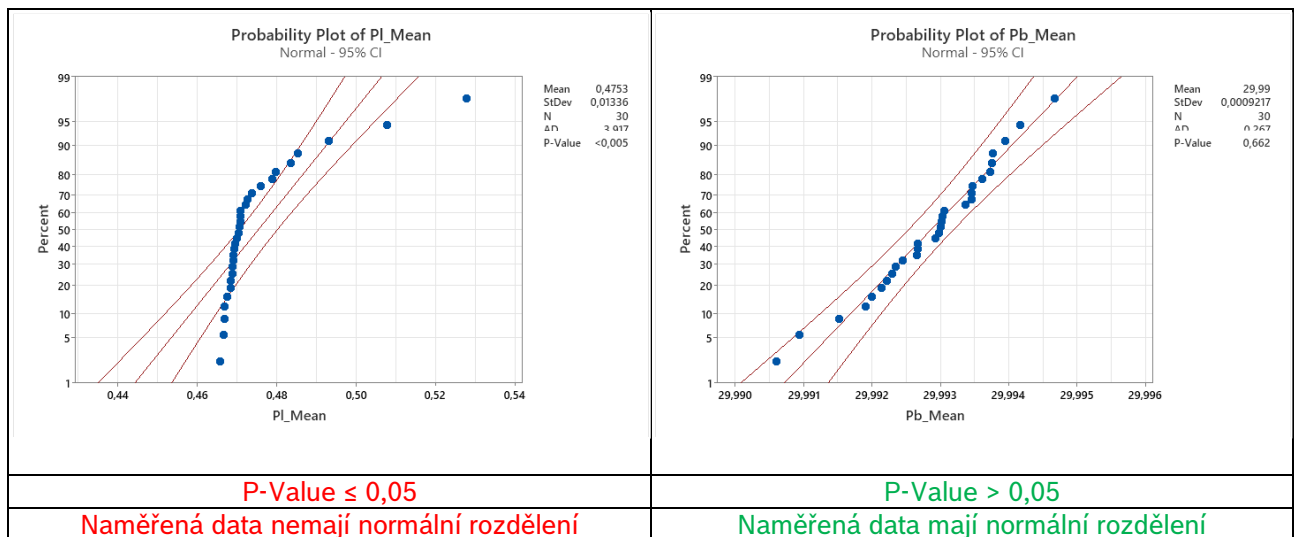
5.2 Ověření normality dat

1. Postup v Minitab:
 Graph → Probability plot → zvolte vyhodnocovaný parametr → Ok



Obrázek 4) Ověření normality – postup v Minitab

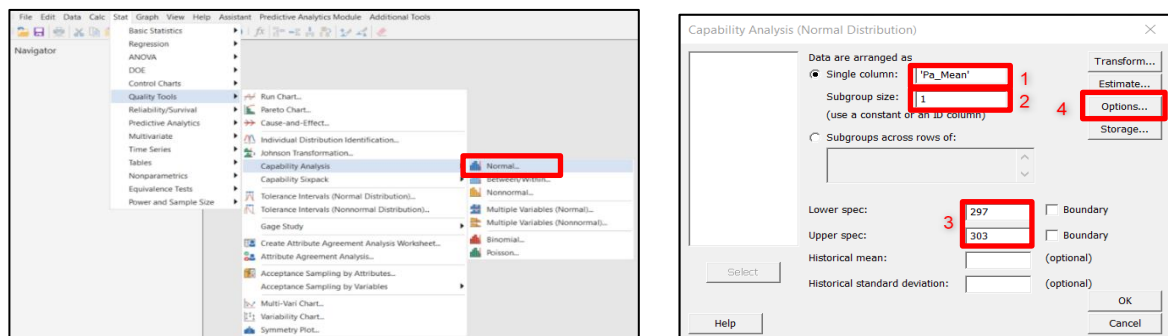
Interpretace:



- **Poznámka 1:** Kritickou hodnotu P-Value (0,05) volíme na základě tzv. hladiny významnosti α , Příklad volíme $\alpha = 5\%$. To znamená, že se s 5% pravděpodobností dopustíme chyby I. Druhu (Tedy, že prohlásíme data za normální, i když skutečně normální nejsou).
- **Poznámka 2:** Nejpoužívanější hodnotou v praxi je $\alpha = 5\%$.
- **Poznámka 3:** Normalita dat je předpoklad pro použití vzorců pro výpočet způsobilosti.
- **Poznámka 4:** Test normality a probability plot slouží také k odhalení působení nežádoucích faktorů (např. kolísání teploty hydraulického média), lze doplnit o histogram.

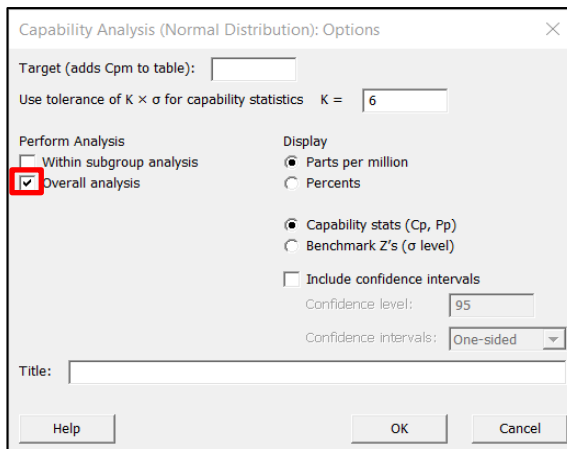
5.3 Vyhodnocení ukazatelů Pm, Pmk

Quality Tools → Capability Analysis → Normal



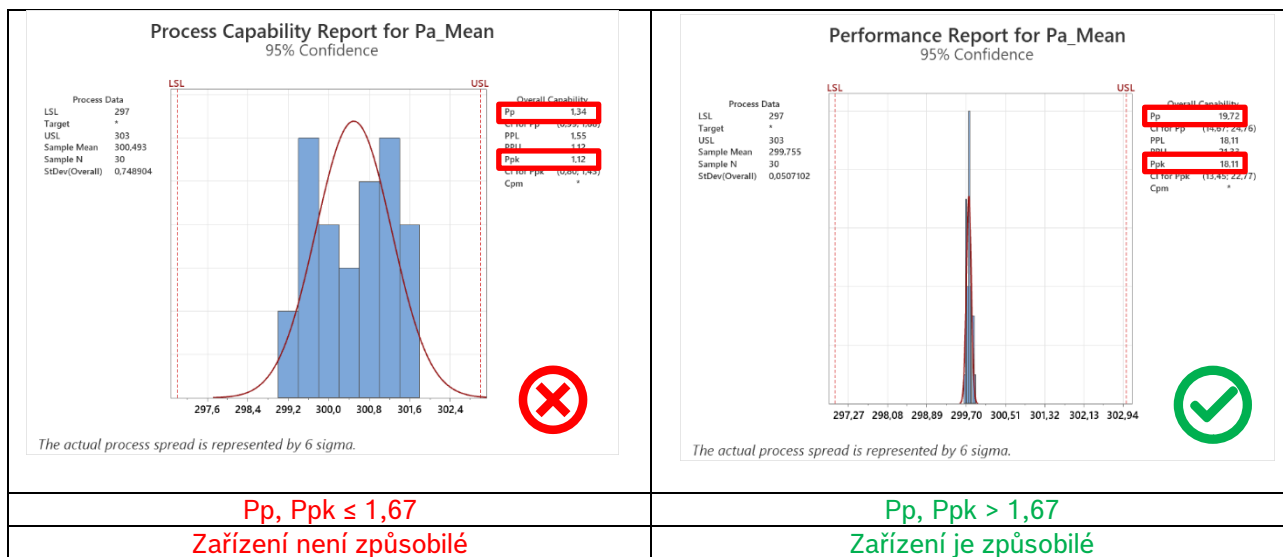
Obrázek 5) Výpočet indexů výkonosti – postup v Minitab

1. Vložte název sloupce, ve kterém jsou příslušná data.
2. „1“.
3. Dolní a horní toleranční rozměr.
4. Zvolte „Options“ a zvolte pouze variantu „Overall analysis“



Obrázek 6) Výpočet indexů výkonosti – postup v Minitab

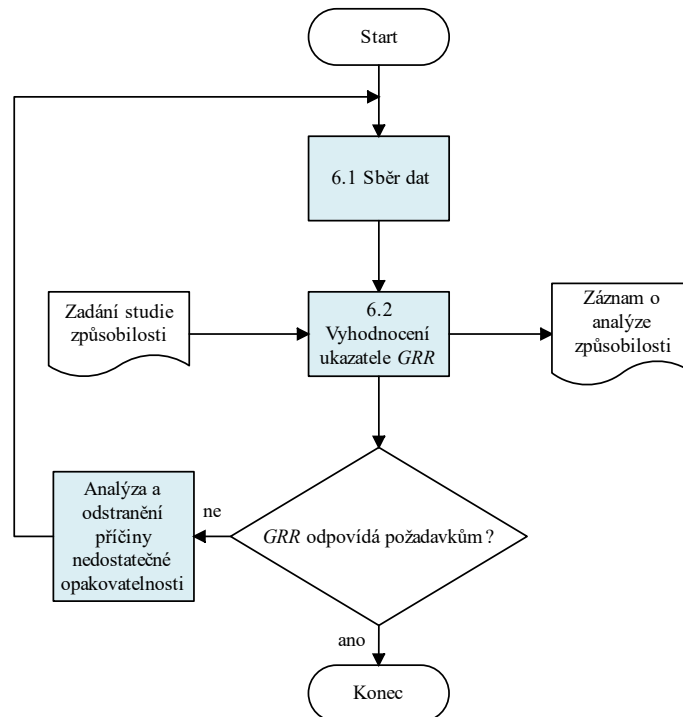
5.3.1 Interpretace výsledků



UPOZORNĚNÍ: P_m , P_{mk} a P_p , P_{pk} a C_m , C_{mk} jsou ekvivalentní z hlediska výpočtu (pouze odlišné označení).
 Poznámka 1: V tomto příkladě byla použita požadovaná hodnota 1,67, lze stanovit jinou hodnotu.

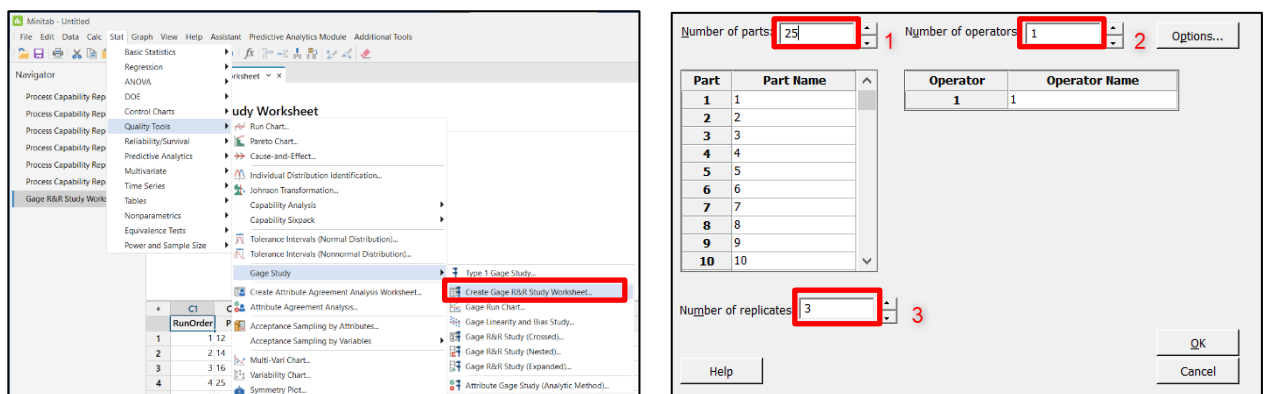
6 Analýza opakovatelnosti měřicího systému (GRR)

6.1 Sběr dat



Obrázek 7) Analýza opakovatelnosti měřicího systému

1. Nejméně 25 kusů hydromotorů/čerpadel – 2 (ideálně 3) opakovaná měření pro každý hydromotor/čerpadlo.
2. Pořadí kusů znáhodněné. Lze provést v Minitab. Postup: Quality Tools → Gage Study → Create Gage R&R Study Worksheet



Obrázek 8) Znáhodnění pro analýzu opakovatelnosti – postup v Minitab

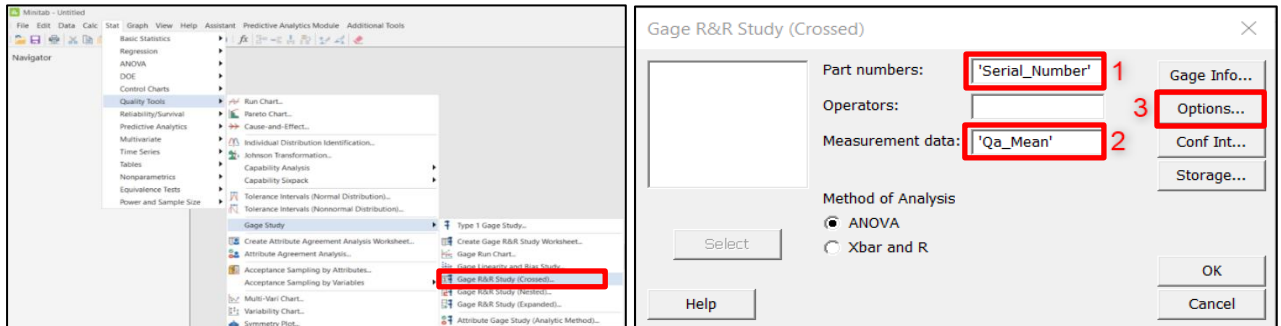
1. Počet kusů
2. Počet operátorů – 1 (operátor měření neovlivňuje)
3. Počet opakování měření

- *Poznámka 1: Lze přejmenovat „Part name“ například pomocí sériových čísel.*

UPOZORNĚNÍ: Je potřeba minimalizovat vliv okolních faktorů na měření jako např. kolísání teploty hydraulického média. Musí být zaznamenáno pořadí naměřených hodnot a časové ohraničení studie.

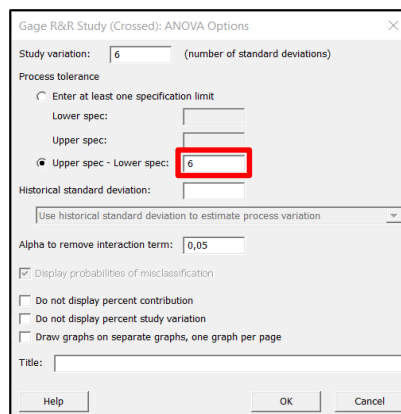
6.2 Vyhodnocení ukazatele GRR

Quality Tools → Gage Study → Create Gage R&R (Crossed)



Obrázek 9) Výpočet ukazatele GRR – postup v Minitab

1. Vložte název sloupce, ve kterém je označení hydromotoru/ čerpadla (sériové číslo)
2. Vložte název sloupce, ve kterém jsou příslušná data.
3. Zvolte „Options“ a vyplňte velikost tolerance (stačí velikost, není potřeba dolní a horní mez).



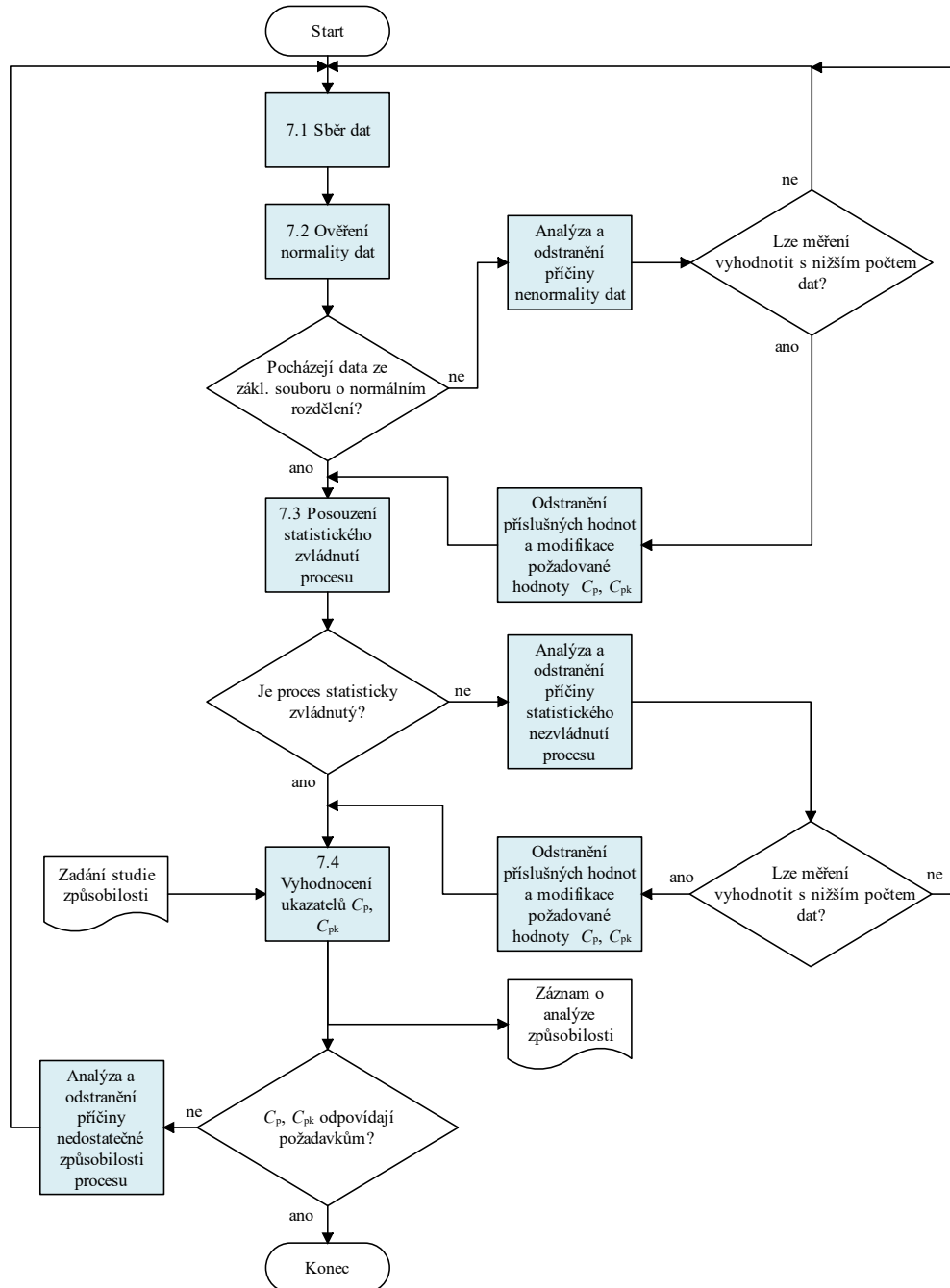
Obrázek 10) Výpočet ukazatele GRR – postup v Minitab

6.2.1 Interpretace výsledků

Gage Evaluation	Gage Evaluation	Gage Evaluation																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>StdDev (SD)</th> <th>95% CI</th> <th>Study Var (6 × SD)</th> <th>95% CI</th> <th>%Study Var (50%)</th> <th>95% CI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Gage R&R</td> <td>0,0009303</td> <td>(0,001; 0,001)</td> <td>0,0055820</td> <td>(0,004; 0,006)</td> <td>87,3%</td> <td>(78,0%; 100,00)</td> </tr> <tr> <td>Repeatability</td> <td>0,0009303</td> <td>(0,001; 0,001)</td> <td>0,0055820</td> <td>(0,004; 0,006)</td> <td>7,53</td> <td>(0,00; 62,52)</td> </tr> <tr> <td>Part-To-Part</td> <td>0,0000702</td> <td>(0,000; 0,001)</td> <td>0,0004213</td> <td>(0,000; 0,004)</td> <td></td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>Total Variation</td> <td>0,0009316</td> <td>(0,001; 0,001)</td> <td>0,0055979</td> <td>(0,005; 0,007)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Number of Distinct Categories = 1 95% CI = (0; 1,13275)</p>	Source	StdDev (SD)	95% CI	Study Var (6 × SD)	95% CI	%Study Var (50%)	95% CI	Total Gage R&R	0,0009303	(0,001; 0,001)	0,0055820	(0,004; 0,006)	87,3%	(78,0%; 100,00)	Repeatability	0,0009303	(0,001; 0,001)	0,0055820	(0,004; 0,006)	7,53	(0,00; 62,52)	Part-To-Part	0,0000702	(0,000; 0,001)	0,0004213	(0,000; 0,004)		100,00	Total Variation	0,0009316	(0,001; 0,001)	0,0055979	(0,005; 0,007)			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>StdDev (SD)</th> <th>95% CI</th> <th>Study Var (6 × SD)</th> <th>95% CI</th> <th>%Study Var (50%)</th> <th>95% CI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Gage R&R</td> <td>0,030119</td> <td>(0,024; 0,042)</td> <td>0,180716</td> <td>(0,142; 0,249)</td> <td>87,8%</td> <td>(77,9%; 99,89)</td> </tr> <tr> <td>Repeatability</td> <td>0,030119</td> <td>(0,024; 0,042)</td> <td>0,180716</td> <td>(0,142; 0,249)</td> <td>96,22</td> <td>(91,70; 98,31)</td> </tr> <tr> <td>Part-To-Part</td> <td>0,106349</td> <td>(0,082; 0,149)</td> <td>0,638093</td> <td>(0,492; 0,896)</td> <td></td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>Total Variation</td> <td>0,110532</td> <td>(0,087; 0,152)</td> <td>0,663189</td> <td>(0,524; 0,914)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Number of Distinct Categories = 4 95% CI = (3,25062; 7,58586)</p>	Source	StdDev (SD)	95% CI	Study Var (6 × SD)	95% CI	%Study Var (50%)	95% CI	Total Gage R&R	0,030119	(0,024; 0,042)	0,180716	(0,142; 0,249)	87,8%	(77,9%; 99,89)	Repeatability	0,030119	(0,024; 0,042)	0,180716	(0,142; 0,249)	96,22	(91,70; 98,31)	Part-To-Part	0,106349	(0,082; 0,149)	0,638093	(0,492; 0,896)		100,00	Total Variation	0,110532	(0,087; 0,152)	0,663189	(0,524; 0,914)			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>StdDev (SD)</th> <th>95% CI</th> <th>Study Var (6 × SD)</th> <th>95% CI</th> <th>%Study Var (50%)</th> <th>95% CI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Gage R&R</td> <td>0,08165</td> <td>(0,053; 0,108)</td> <td>0,48990</td> <td>(0,316; 0,678)</td> <td>10%</td> <td>(1,24; 20,05)</td> </tr> <tr> <td>Repeatability</td> <td>0,08165</td> <td>(0,053; 0,108)</td> <td>0,48990</td> <td>(0,316; 0,678)</td> <td>99,70</td> <td>(97,64; 99,99)</td> </tr> <tr> <td>Part-To-Part</td> <td>1,04899</td> <td>(0,545; 6,599)</td> <td>6,23391</td> <td>(3,272; 26,594)</td> <td></td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>Total Variation</td> <td>1,05216</td> <td>(0,551; 6,608)</td> <td>6,31295</td> <td>(3,326; 26,598)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Number of Distinct Categories = 18 95% CI = (6,70344; 114,058)</p>	Source	StdDev (SD)	95% CI	Study Var (6 × SD)	95% CI	%Study Var (50%)	95% CI	Total Gage R&R	0,08165	(0,053; 0,108)	0,48990	(0,316; 0,678)	10%	(1,24; 20,05)	Repeatability	0,08165	(0,053; 0,108)	0,48990	(0,316; 0,678)	99,70	(97,64; 99,99)	Part-To-Part	1,04899	(0,545; 6,599)	6,23391	(3,272; 26,594)		100,00	Total Variation	1,05216	(0,551; 6,608)	6,31295	(3,326; 26,598)		
Source	StdDev (SD)	95% CI	Study Var (6 × SD)	95% CI	%Study Var (50%)	95% CI																																																																																																					
Total Gage R&R	0,0009303	(0,001; 0,001)	0,0055820	(0,004; 0,006)	87,3%	(78,0%; 100,00)																																																																																																					
Repeatability	0,0009303	(0,001; 0,001)	0,0055820	(0,004; 0,006)	7,53	(0,00; 62,52)																																																																																																					
Part-To-Part	0,0000702	(0,000; 0,001)	0,0004213	(0,000; 0,004)		100,00																																																																																																					
Total Variation	0,0009316	(0,001; 0,001)	0,0055979	(0,005; 0,007)																																																																																																							
Source	StdDev (SD)	95% CI	Study Var (6 × SD)	95% CI	%Study Var (50%)	95% CI																																																																																																					
Total Gage R&R	0,030119	(0,024; 0,042)	0,180716	(0,142; 0,249)	87,8%	(77,9%; 99,89)																																																																																																					
Repeatability	0,030119	(0,024; 0,042)	0,180716	(0,142; 0,249)	96,22	(91,70; 98,31)																																																																																																					
Part-To-Part	0,106349	(0,082; 0,149)	0,638093	(0,492; 0,896)		100,00																																																																																																					
Total Variation	0,110532	(0,087; 0,152)	0,663189	(0,524; 0,914)																																																																																																							
Source	StdDev (SD)	95% CI	Study Var (6 × SD)	95% CI	%Study Var (50%)	95% CI																																																																																																					
Total Gage R&R	0,08165	(0,053; 0,108)	0,48990	(0,316; 0,678)	10%	(1,24; 20,05)																																																																																																					
Repeatability	0,08165	(0,053; 0,108)	0,48990	(0,316; 0,678)	99,70	(97,64; 99,99)																																																																																																					
Part-To-Part	1,04899	(0,545; 6,599)	6,23391	(3,272; 26,594)		100,00																																																																																																					
Total Variation	1,05216	(0,551; 6,608)	6,31295	(3,326; 26,598)																																																																																																							
<p>GRR ≥ 30% Zařízení není způsobilé</p>	<p>10% ≤ GRR < 30% Zařízení je podmíněně způsobilé</p>	<p>GRR < 10% Zařízení je způsobilé</p>																																																																																																									

- Poznámka 1: Podmíněná způsobilost: rozhodnutí by mělo vycházet například z důležitosti měření aplikace, nákladů vynaložených na měřicí zařízení, z nákladů na přepracování nebo opravu. Mělo by to být schváleno zákazníkem. [MSA]
- Poznámka 2: U Rig 15 bylo o podmíněné způsobilosti rozhodnuto na základě %Tolerance (SV/Toler). Tato hodnota má být menší než 10 %.

7 Analýza způsobilosti procesu (C_p , C_{pk})



Obrázek 11) Analýza způsobilosti procesu

7.1 Sběr dat

1. Ověření vhodnosti senzorů (provedeno v analýze způsobilosti Část 1 – Způsobilost stroje).
2. Nejméně 125 opakovaných měření (například $m = 25$ podskupin každá s velikostí podskupiny $n = 5$)

UPOZORNĚNÍ: Sběr dat je nutné provádět po dostatečně dlouhou dobu, aby na proces mohly mít vliv všechny možné očekávané vlivy.

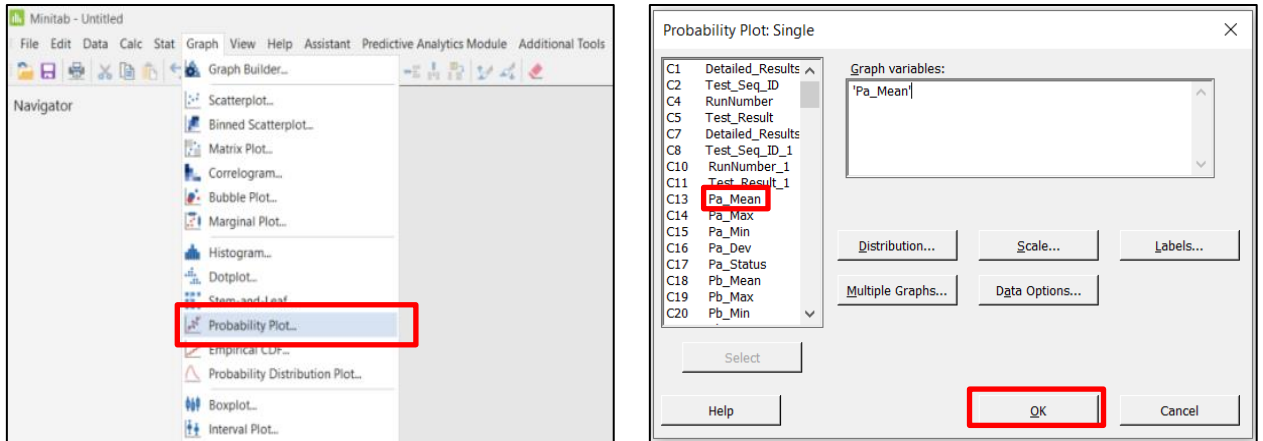
Poznámka: Například 5 hodnot každou směnu.

3. Musí být zaznamenáno pořadí měření a časové ohraničení studie.

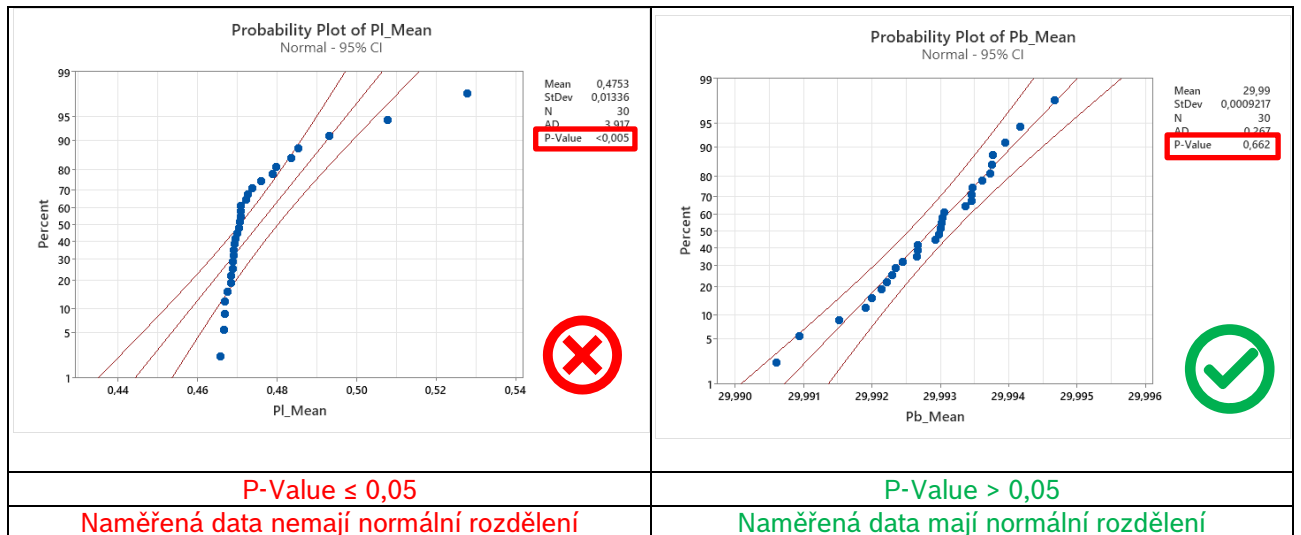
7.2 Posouzení normality dat

Postup v Minitab:

Graph → Probability plot → zvolte vyhodnocovaný parametr → Ok



Obrázek 12) Ověření normality – postup v Minitab

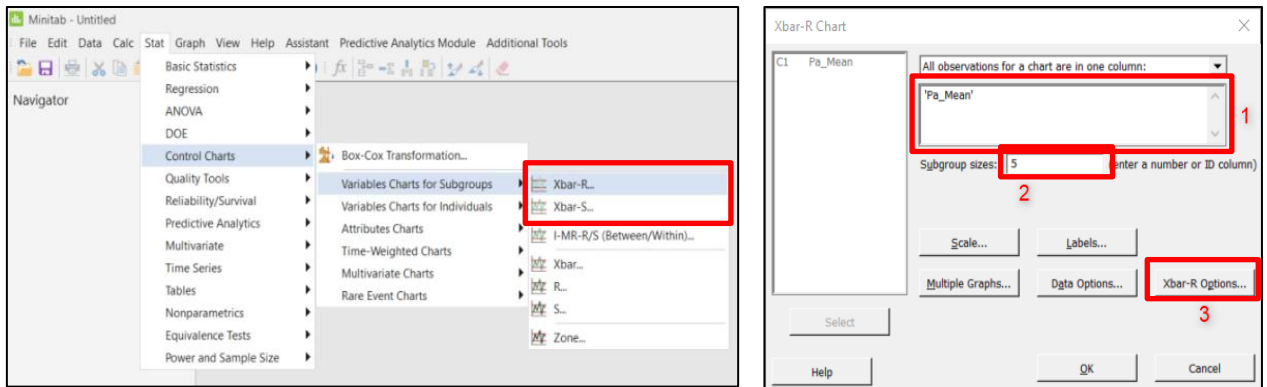


- *Poznámka 1: Kritickou hodnotu P-Value (0,05) volíme na základě tzv. hladiny významnosti α . Příklad volíme $\alpha = 5\%$. To znamená, že se s 5% pravděpodobností dopustíme chyby I. Druhu (Tedy, že prohlásíme data za normální, i když skutečně normální nejsou).*
- *Poznámka 2: Nejpoužívanější hodnotou v praxi je $\alpha = 5\%$.*
- *Poznámka 3: Normalita dat je předpoklad pro použití dále popsaných vzorců pro výpočet způsobilosti.*
- *Poznámka 4: Test normality a probability plot slouží také k odhalení působení nežádoucích faktorů (např. kolísání teploty hydraulického média).*

7.3 Posouzení statistického zvládnutí procesu

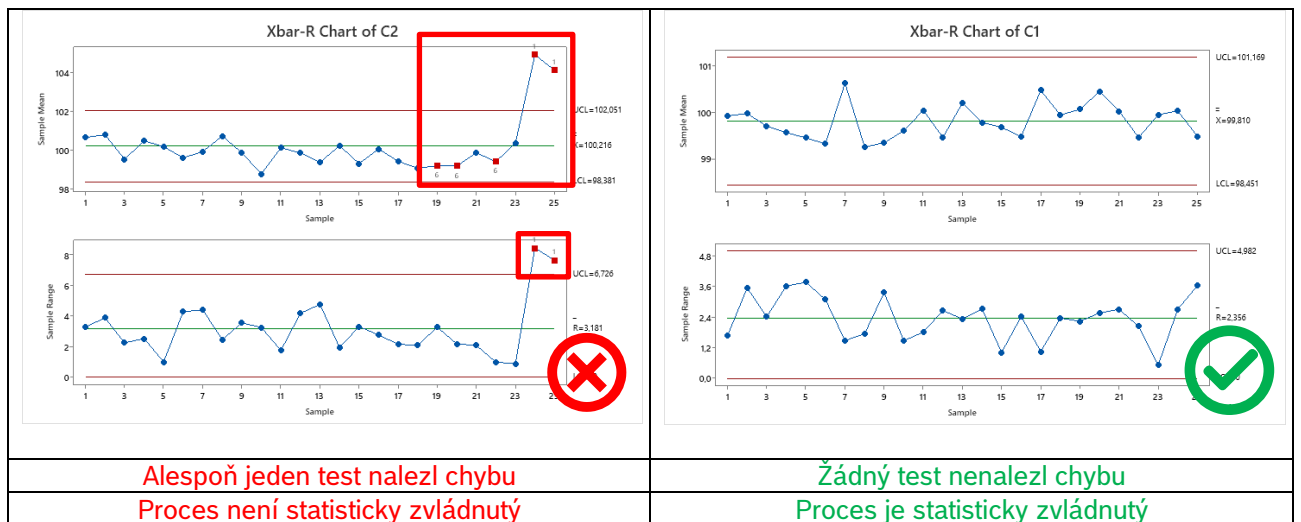
Control Charts → Variables Charts for Subgroups → Xbar-R/Xbar-S

Poznámka: Doporučení je při velikosti podskupin ≤ 10 používat regulační diagram Xbar-R, při velikosti podskupin > 10 používat regulační diagram Xbar-S.



Obrázek 13) Ověření statistického zvládnutí procesu – postup v Minitab

1. Vložte název sloupce, ve kterém jsou naměřená data.
2. Vložte velikost podskupin.
3. Zvolte „Xbar-R (S) Options“ a v záložce „Tests“ zvolte všechny testy.

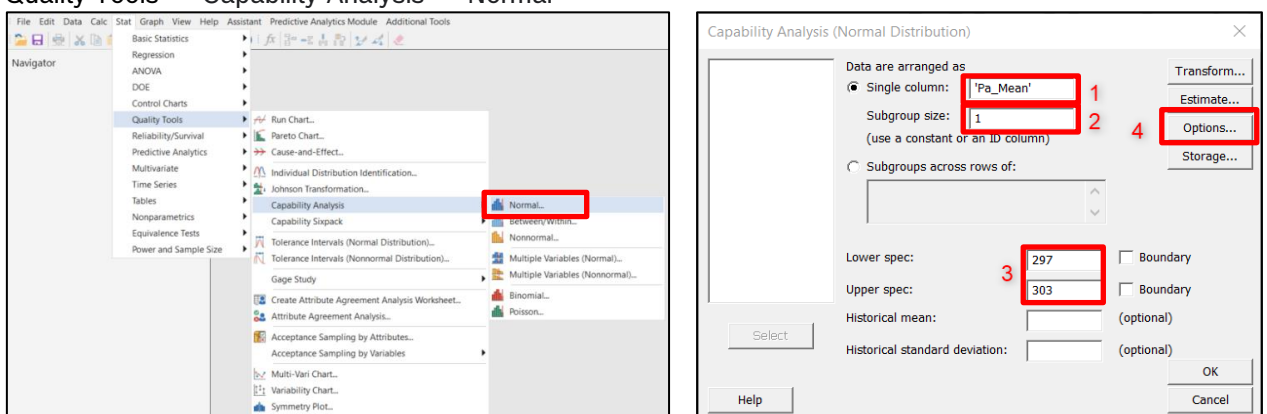


Poznámka 1: Pokud jeden z testů odhalil chybu, pak to znamená, že na proces působil výrazně nějaký faktor (např. okolní prostředí, kontaminace hydr. oleje, nedostatečná údržba atd.).

Poznámka: Je potřeba tento faktor identifikovat a odstranit.

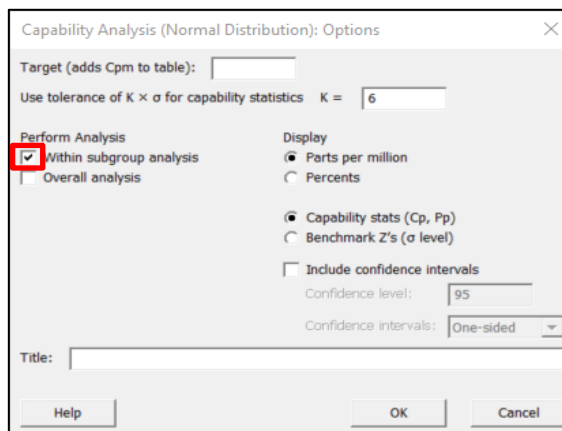
7.4 Vyhodnocení ukazatelů C_p , C_{pk}

Quality Tools → Capability Analysis → Normal



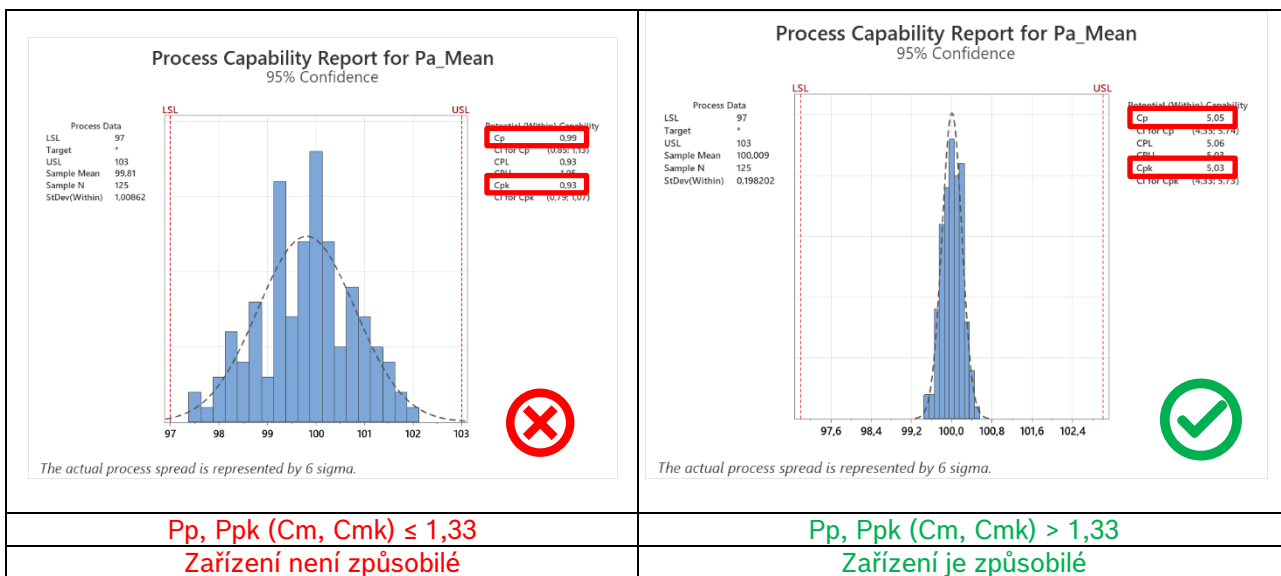
Obrázek 14) Ověření statistického zvládnutí procesu – postup v Minitab

1. Vložte název sloupce ve, kterém jsou příslušná data.
2. Vložte velikost podskupin.
3. Dolní a horní toleranční rozměr.
4. Zvolte „Options“ a zvolte variantu „Within subgroup analysis“



Obrázek 15) Ověření statistického zvládnutí procesu – postup v Minitab

7.4.1 Interpretace výsledků



Příloha 1:

Analyza výkonosti při nedostatečném počtu dílů/měření

Booklet No. 9 — Machine and Process Capability

5 measurements per sample			3 measurements per sample			Machine capability	
Number of complete samples	Number of measurements in all samples	$C_p, C_{pk}, P_p, P_{pk}, C_{p-ST}, C_{pk-ST}, P_{p-ST}, P_{pk-ST}$	Number of complete samples	Number of measurements in all samples	$C_p, C_{pk}, P_p, P_{pk}, C_{p-ST}, C_{pk-ST}, P_{p-ST}, P_{pk-ST}$	Number of measurements	C_m, C_{mk}
1	5	7.92	1	3	33.10	2	559.58
2	10	3.57	2	6	5.97	3	28.90
3	15	2.80	3	9	3.88	4	11.09
4	20	2.46	4	12	3.16	5	6.91
5	25	2.28	5	15	2.80	6	5.21
6	30	2.16	6	18	2.57	7	4.31
7	35	2.07	7	21	2.42	8	3.76
8	40	2.00	8	24	2.31	9	3.39
9	45	1.95	9	27	2.22	10	3.12
10	50	1.91	10	30	2.16	11	2.92
11	55	1.88	11	33	2.10	12	2.76
12	60	1.85	12	36	2.06	13	2.63
13	65	1.82	13	39	2.02	14	2.53
14	70	1.80	14	42	1.98	15	2.44
15	75	1.78	15	45	1.95	16	2.37
16	80	1.77	16	48	1.93	17	2.30
17	85	1.75	17	51	1.91	18	2.25
18	90	1.74	18	54	1.88	19	2.20
19	95	1.73	19	57	1.87	20	2.15
20	100	1.71	20	60	1.85	21	2.11
21	105	1.70	21	63	1.83	22	2.08
22	110	1.69	22	66	1.82	23	2.05
23	115	1.69	23	69	1.81	24	2.02
24	120	1.68	24	72	1.79	25	1.99
≥ 25	≥ 125	1.33	25	75	1.78	26	1.96
			26	78	1.77	27	1.94
			27	81	1.76	28	1.92
			28	84	1.75	29	1.90
			29	87	1.75	30	1.88
			30	90	1.74	31	1.87
			31	93	1.73	32	1.85
			32	96	1.72	33	1.83
			33	99	1.72	34	1.82
			34	102	1.71	35	1.81
			35	105	1.70	36	1.79
			36	108	1.70	37	1.78
			37	111	1.69	38	1.77
			38	114	1.69	39	1.76
			39	117	1.68	40	1.75
			40	120	1.68	41	1.74
			41	123	1.67	42	1.73
			≥ 42	≥ 126	1.33	43	1.72
						44	1.71
						45	1.71
						46	1.70
						47	1.69
						48	1.68
						49	1.68
						≥ 50	1.67

NOTE: For the short-term indices $C_{p-ST}, C_{pk-ST}, P_{p-ST}$ and P_{pk-ST} the minimum requirement 1.67 also applies at more than 125 values.

Table 6: Requirements for process capability/performance and machine capab. with smaller quantities (Confidence level 99.67 % bilateral / 99.83 % unilateral below, 5 and 3 readings per sample)

NOTE: Values that do not form a complete dample are not included in the evaluation.