



## Automotive Quality Universe

### 3. enota: Upravljanje kakovosti in varnosti

#### 1. element: Sposobnost

#### Podkomponenta: Six Sigma

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Automotive Quality Universities – AutoUniverse (AQU).  
Ta projekt je bil sofinanciran v okviru programa Evropske unije Erasmus+ - 2015-  
1-CZ01-KA203-013986. Ta publikacija/sporočilo odraža stališče avtorjev in  
Komisija ne prevzema odgovornosti za kakršnokoli uporabo informacij, ki jih  
vsebuje.



European Certification &  
Qualification Association

ECQA certificirano učno gradivo  
Avtorji: AQU Odbor za učna gradiva

[www.ecqa.org](http://www.ecqa.org)

3. izdaja

To učno gradivo je bilo certificirano v skladu s pravili **ECQA – Evropskega združenja za certificiranje in kvalificiranje**.

Učno gradivo je bilo usklajeno med univerzami in industrijo v okviru mednarodnega konzorcija projekta

**“Automotive Quality Universities – AutoUniverse (AQU)”**:

**VSB – Technical University of Ostrava**, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Češka, [www.fei.vsb.cz/en](http://www.fei.vsb.cz/en)

**Graz University of Technology**, Institute for Technical Informatics, Avstrija, [www.iti.tugraz.at](http://www.iti.tugraz.at)

**University of Applied Sciences JOANNEUM**, Institute for Automotive Engineering, Graz, Avstrija, <https://www.fh-joanneum.at/en/institut/automotive-engineering/>

**EMIRAcle – European Manufacturing and Innovation Research Association**, Belgija, <http://www.emiracle.eu/>

**Univerza v Mariboru**, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Slovenija, <https://feri.um.si/>

**ISCN Ltd./Ges.m.b.H**, Irska/Avstrija, [www.iscn.com](http://www.iscn.com)

**ECQA – European Certification and Qualification Association**, Avstrija, [www.ecqa.org](http://www.ecqa.org)

Ta projekt je bil financiran s podporo programa Erasmus+ Evropske komisije po pogodbi 2015-1-CZ01-KA203-013986 - 2015 – 2017.

AQUA – Zavezništvo znanja za kakovost usposabljanja in odličnost v avtomobilski industriji je vzpostavilo zavezništvo za kakovost – LLP projekt EAC-2012-0635 - 2013 – 2014.

*Ta publikacija/sporočilo odraža stališče avtorjev in Komisija ne prevzema odgovornosti za kakršnokoli uporabo informacij, ki jih vsebuje.*



## Auto Universe Ecosystem



**Projekt Auto Universe je združil  
gradivo za usposabljanje na  
univerzah in v industriji (september  
2015 - september 2017)**

Usposabljanje je priznано na ravni univerz z ECTS in v  
avtomobilski industriji.



**Zavezništvo AQUA je vzpostavilo  
zavezništvo za kakovost – LLP  
projekt EAC-2012-0635 - 2013 –  
2014.**

ECQA certificirano učno gradivo

U3.E1-SIXSIGMA-2

To učno gradivo je bilo certificirano v skladu s pravili **ECQA – Evropskega združenja za certificiranje in kvalificiranje**.

Učno gradivo je bilo usklajeno med univerzami in industrijo v okviru mednarodnega konzorcija projekta

**“Automotive Quality Universities – AutoUniverse (AQU)”**:

**VSŠ – Technical University of Ostrava**, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Češka, [www.fei.vsb.cz/en](http://www.fei.vsb.cz/en)

**Graz University of Technology**, Institute for Technical Informatics, Avstrija, [www.tugraz.at](http://www.tugraz.at)

**University of Applied Sciences JOANNEUM**, Institute for Automotive Engineering, Graz, Avstrija, <https://www.fh-joaanneum.at/en/institut/automotive-engineering/>

**EMIRacle – European Manufacturing and Innovation Research Association**, Belgija, <http://www.emiracle.eu/>

**Univerza v Mariboru**, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Slovenija, <https://feri.um.si/>

**ISCN Ltd./Ges.m.b.H**, Irska/Avstrija, [www.iscn.com](http://www.iscn.com)

**ECQA – European Certification and Qualification Association**, Avstrija, [www.ecqa.org](http://www.ecqa.org)

Ta projekt je bil financiran s podporo programa Erasmus+ Evropske komisije po pogodbi 2015-1-CZ01-KA203-013986 - 2015 – 2017.

AQUA – Zavezništvo znanja za kakovost usposabljanja in odličnost v avtomobilski industriji je vzpostavilo zavezništvo za kakovost – LLP projekt EAC-2012-0635 - 2013 – 2014.

**Ta publikacija/sporočilo odraža stališče avtorjev in Komisija ne prevzema odgovornosti**

za kakršnokoli uporabo informacij, ki jih vsebuje.

### **AQUA.U3.E1 Sposobnost**

**Ta element vsebuje učne cilje. Ta predstavitev naslavlja kriterij zmogljivosti v povezavi s Six Sigma.**

**AQUA.U3.E1.PC4 Razumevanje razmerij med kratko- in dolgoročno zmogljivostjo. Definiranje, izbira in izračun  $C_p$  in  $C_{pk}$  za izračun zmogljivosti procesa. Definiranje, izbira in izračun  $P_p$  in  $P_{pk}$  za izračun zmogljivosti procesa.**

### Definicija sposobnosti procesa:

*'Zmožnost procesa, da ustvarja proizvode, ki izpolnjujejo pričakovanja/specifikacije kupca'*

#### Primer:

- Specificirana dolžina vijaka je  $10 \pm 0,5$  mm
- Analiza sposobnosti nam govori o sposobnosti proizvodnega procesa, da izpolnjuje specifikacije, ter kako lahko proces izboljšamo in zavarujemo.
- Proces mora biti za zanesljivo določanje sposobnosti stabilen. Nestabilen proces je tudi nepredvidljiv.

Sposobnost procesa je zmožnost procesa, da ustvarja proizvode in storitve, ki izpolnjujejo pričakovanja kupca v okviru zahtevanih specifikacij. Analiza sposobnosti nam govori o sposobnosti proizvodnega procesa, da izpolnjuje specifikacije (zgornja in spodnja specificirana meja), ter kako lahko proces izboljšamo in zavarujemo. Rezultat meritev običajno prikažemo v obliki histograma in izračunov, ki napovedujejo, koliko proizvedenih delov bo zunaj specifikacij.

Z izvedbo študij sposobnosti procesov ugotavljamo, česa smo sposobni, na primer za:

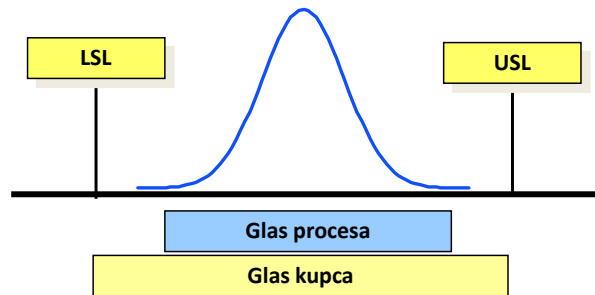
- določanje izhodiščne zmogljivosti ob začetku projekta izboljšav;
- dokazovanje izboljšav ob koncu projekta;
- preverjanje sposobnosti procesa za proizvodnjo znotraj specifikacij;
- pomoč razvoju izdelkov pri izbiri ali spreminjanju procesov;
- določanje intervalov med odvzemi vzorcev za nadzor procesa;
- opredeljevanje zahtev glede zmogljivosti nove opreme;
- izbiranje med dobavitelji; ali za
- zmanjšanje variabilnosti procesa.

## Sposobnost in zmogljivost procesa

### Kaj pomeni sposobnost Six Sigma?

Kaj pomeni “zunaj specifikacij”?

- Skrbno prisluhnite željam kupca
- Skrbno preučite sposobnost svojega procesa



ECQA certificirano učno gradivo

U3.E1-SIXSIGMA-5

Za izračun sposobnosti in zmogljivosti procesa sta pomembni dve stvari:

- Glas procesa – variabilnost v procesu.
- Glas kupca – specifikacija potreb kupca (LCL in USL).

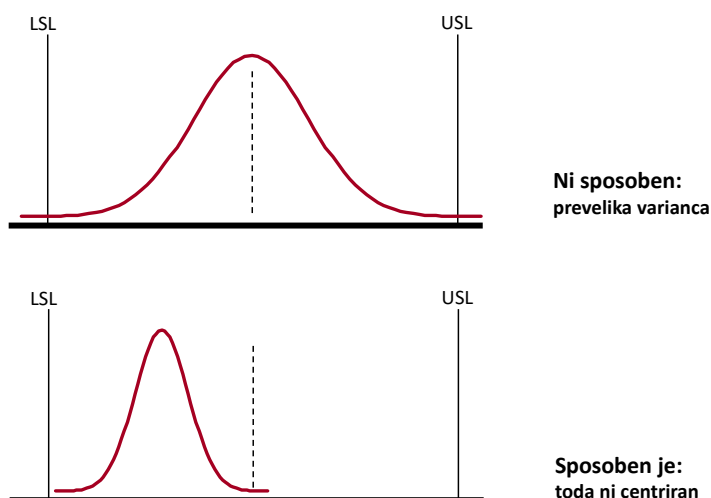
LSL = spodnja specificirana meja

USL = zgornja specificirana meja

Manjši kot je glas procesa v primerjavi z glasom procesa, boljša je sposobnost procesa.

Sposobnost procesa je potencial procesa, da proizvaja izdelke ali storitve znotraj specifikacij zasnove. Specifikaciji zasnove se imenujeta 'spodnja specificirana meja' (LSL) in 'zgornja specificirana meja' (USL). Sposobnost procesa izhaja iz lastne variabilnosti procesa in upošteva le splošne vzroke variabilnosti. Sposobnost procesa predstavlja najboljšo zmogljivost samega procesa. Dokazuje se z delovanjem procesa v režimu statistične kontrole.

## Sposoben ali ne?



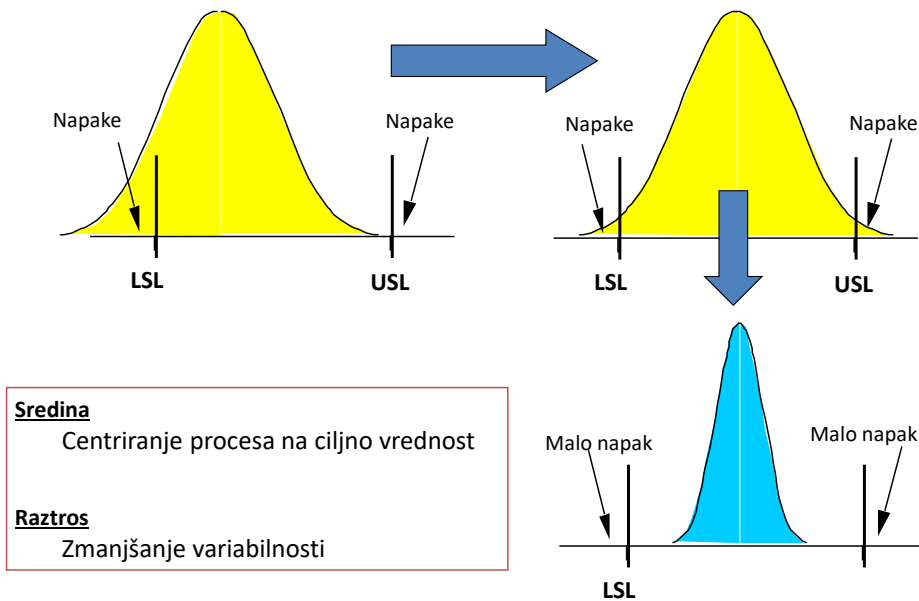
Dva najpomembnejša vzroka za nesposobnost procesov sta:

- Prevelika varianca, glejte zgornjo sliko na diapozitivu. Variabilnost procesa je prevelika v primerjavi s specifikacijami, ki jih je postavil kupec.
- Srednja vrednost ni centrirana, glejte spodnjo sliko na diapozitivu. Variabilnost procesa ni problem, kar pa ne velja za srednjo vrednost izhoda procesa.

Seveda se srečujemo tudi s kombinacijami obeh primerov, t. j. z necentriranimi procesi, ki imajo preveliko varianco.

Projekti Lean Six Sigma se osredotočajo na centriranje procesa (srednje vrednosti) in na zmanjšanje standardnega odklona (raztrosa).

## Sposobnost in zmogljivost procesa



Prvi korak projektov Six Sigma je usmerjen v centriranje procesa (zgoraj levo na sliki). Slika v zgornjem desnem kotu kaže preveliko varianco, ki je druga tarča projektov Six Sigma.

Modra krivulja prikazuje rezultat projekta Six Sigma. Gre za centriran proces z manjšo variabilnostjo, v katerem nastaja manj škarta.



## Lastna variabilnost procesa

- Del variabilnosti procesa, ki izhaja iz "splošnih razlogov"
- To vrsto variabilnosti lahko ocenjujemo s povprečenjem standardnih odklonov podskupin

## Celotna variabilnost procesa

- To je variabilnost, ki izhaja iz "splošnih razlogov" in iz "posebnih razlogov"
- Variabilnost lahko ocenjujemo z izračunom standardnega odklona nad vsemi meritvami

## Sposobnost procesa

- To je razpon  $6\sigma_{\text{Znotraj}}$  lastne variabilnosti procesa

## Zmogljivost procesa

- To je razpon  $6\sigma_{\text{Celotno}}$  celotne variabilnosti procesa

Lahko si predstavljate, da bo variabilnost v množici vzorcev, ki so bili odvzeti tik eden za drugim, dosti manjša kot pri množici vzorcev, ki so bili odvzeti v daljšem časovnem obdobju. Procesi kažejo večjo variabilnost na dolgi rok kot v krajšem časovnem obdobju. Zato je pomembno, da omenimo, v kakšnem časovnem obdobju so bili odvzeti vzorci. Dolgoročna variabilnost je vsota kratkoročne variabilnosti in premika povprečja v daljšem časovnem obdobju.

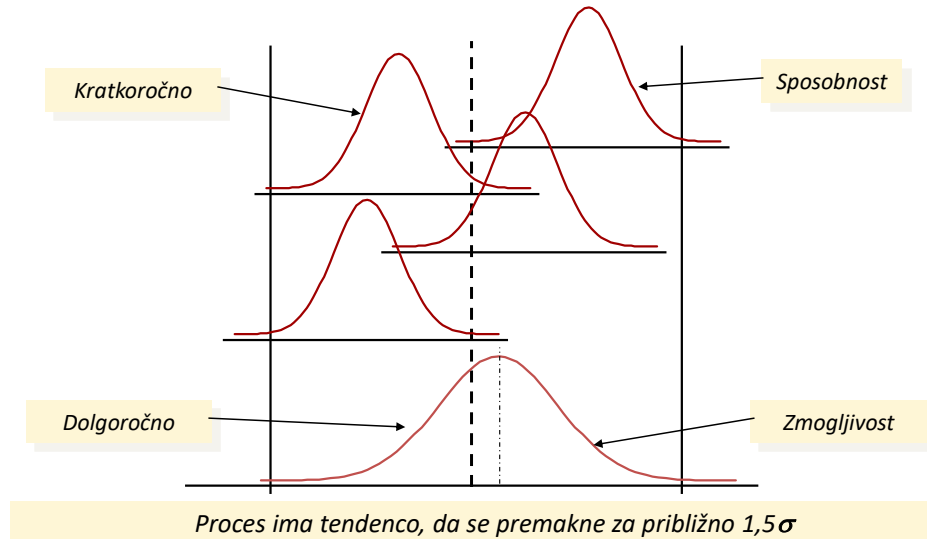
Študije kratkoročne sposobnosti pokrivajo razmeroma kratka časovna obdobja (dan ali dva) in običajno zberejo 30–50 podatkovnih točk. Primerno število se razlikuje od procesa do procesa.

Študije dolgoročne sposobnosti pokrivajo daljša časovna obdobja (tedni ali meseci) in običajno zberejo 100–200 podatkovnih točk. Tudi tukaj je primerno število odvisno od procesa.

Sposobnost procesa imenujemo tudi 'potencial znotraj sposobnosti'. Povezane metrike se izračunavajo na podlagi kratkoročne variabilnosti. Cpk nas obvešča o sposobnosti procesa na stroju v prihodnosti, pod pogojem statističnega nadzora. Cpk uporabite, če želite vedeti, kako bo variabilnost vplivala na sposobnost vašega procesa, da bo izpolnjeval zahteve kupca (CTQ-je) v prihodnje. Cp in Cpk uporabite, ko delate z vzorci in ne s populacijo.

Zmogljivost procesa imenujemo tudi 'celotna sposobnost'. Povezane metrike vključujejo variabilnost, ugotovljeno v analizi (na dolgi rok), in tako bolj verno odražajo dejansko zmogljivost procesa. Ppk vam pove, kakšna je bila zmogljivost procesa v preteklosti. Parametra ne uporabljajte za napovedovanje prihodnosti kot Cpk, saj proces ni pod nadzorom. Pp in Ppk uporabite, ko delate s celotno populacijo.

## Kratkoročna in dolgoročna sposobnost



Variabilnost v podskupini vzorcev, ki so bili odvzeti tik eden za drugim, bo verjetno manjša kot v podmnožici vzorcev, ki so bili odvzeti v daljšem časovnem obdobju. Razloga za tak rezultat sta dva. Prvič je 'dolgoročna variabilnost' vsota vseh 'kratkoročnih variabilnosti' v času.

Drugič se bo srednja vrednost podskupine vzorcev v času spreminjala zaradi lastnih premikov pri materialu, procesih, okolju in drugih dejavnikov. Dolgoročna zmogljivost procesa ima zato večjo variabilnost kot kratkoročna zmogljivost. To prikazuje grafikon na tem diapozitivu.

### Indeksi sposobnosti (Capability Indices)

- Statistiki so razvili dva glavna indeksa za merjenje kratkoročne sposobnosti:  $C_p$  (Process Capability) in  $C_{pk}$  (Process Capability index)

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{Znotraj}}$$

$$C_{pL} = \frac{\bar{x} - LSL}{3 \cdot \sigma_{Znotraj}}$$

$$C_{pU} = \frac{USL - \bar{x}}{3 \cdot \sigma_{Znotraj}}$$

$$C_{pk} = \min(C_{pL}, C_{pU})$$

‘Sposobnost procesa’ ( $C_p$ ) se je v zadnjih 20–30 letih uveljavila kot standardna metrika za določanje tega, kaj zmore proces.  $C_p$  primerja širino procesa z največjo dovoljeno variabilnostjo, ki jo podaja toleranca. Indeks nas obvešča o tem, kako dobro bo proces izpolnjeval zahteve glede variabilnosti. Manjša variabilnost procesa pomeni višjo kakovostno raven, ki je enakovredna večji vrednosti  $C_p$ . Na sposobnost procesa  $C_p$  ne vpliva položaj krivulje procesa. Indeks se lahko izračunava samo za dvostranske tolerance po naslednji formuli:

$C_p$  = specificirana širina, deljena s **kratkoročno** širino procesa.

$C_p$  se uporablja za osnovno uvajanje v koncept sposobnosti procesov. Ne upošteva pa tega, ali je proces centriran glede na specificirani meji parametra. Indeks sposobnosti procesa  $C_{pk}$  je zato definiran kot sposobnost procesa, korigirana za odmik od centra.  $C_{pk}$  je torej metrika, ki upošteva raztros in položaj krivulje. Indeks definira, kako blizu je proces najbližji specificirani meji, relativno glede na naravno variabilnost procesa. Večji kot je indeks, večja je sposobnost procesa, da proizvaja dele znotraj specificiranih mej.

### Razlika med $C_p$ in $C_{pk}$

Indeks  $C_p$  meri, kako blizu specificirani meji se izvaja proces, relativno glede na naravno variabilnost procesa.

10

Kot tak torej ne opisuje, kako daleč je proces od ciljnega območja. Indeks  $C_{pk}$  nam pove več o položaju porazdelitve glede na specificirani meji.

Pomembne so naslednje formule:

$C_{pk} = \text{minimum izmed } C_{pL} \text{ in } C_{pU}$

$C_{pL} = \text{srednja vrednost procesa minus spodnja specificirana meja, deljeno s polovico } \textbf{kratkoročne} \text{ širine procesa}$

$C_{pU} = \text{zgornja specificirana meja minus srednja vrednost procesa, deljeno s polovico } \textbf{kratkoročne} \text{ širine procesa}$

$C_p = \text{specificirana širina/širina procesa: } (USL - LSL) / 6\sigma$

$C_{pk}$  in  $C_p$  se vedno vrednotita skupaj, saj razlike med  $C_p$  in  $C_{pk}$  nakazujejo priložnost za izboljšavo s centriranjem procesa.

## Indeksi zmogljivosti (Performance Indices)

- Statistiki so razvili tudi dva ključna indeksa za merjenje zmogljivosti (znane tudi kot dolgoročna sposobnost)  $P_p$  (Process performance) in  $P_{pk}$  (Process performance index) :

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{Celotno}}$$

$$P_{pL} = \frac{\bar{x} - LSL}{3 \cdot \sigma_{Celotno}}$$

$$P_{pU} = \frac{USL - \bar{x}}{3 \cdot \sigma_{Celotno}}$$

$$P_{pk} = \min(P_{pL}, P_{pU})$$

Procesi so le redko popolnoma stabilni. Srednja vrednost se sčasoma premakne, spreminja pa se tudi standardni odklon. Zmogljivost procesa je definirana kot to, kar proces dejansko počne. Zmogljivost procesa bazira na celotni variabilnosti procesa na dolgi rok. Pri tem ignorira podskupine in upošteva celotno variabilnost ( $\sigma_{celotno}$ ) celotnega procesa v določenem časovnem obdobju. Ta celotna variabilnost upošteva možne premike med podskupinami. Zmogljivost procesa je zato uporabna za definiranje vedenja procesa v času in se imenuje tudi dolgoročna variabilnost.

Statistiki so razvili dva indeksa za merjenje zmogljivosti:  $P_p$  in  $P_{pk}$ . Metrika  $P_p$  primerja zmogljivost procesa z maksimalno dovoljeno variabilnostjo, ki je predpisana kot toleranca. Indeks nas obvešča o tem, kako dobro bo proces izpolnjeval zahteve glede variabilnosti.  $P_{pk}$  upošteva tako položaj procesa, kakor tudi zmogljivost.  $P_{pk}$  je pri dvosmernih tolerancah vedno manjši ali enak  $P_p$ .  $P_{pk}$  je enak  $P_p$  samo če je proces centriran [17]. Formule so podobne kot za sposobnost procesa:

$P_p$  = specificirana širina, deljena z **dolgoročno** širino procesa

$P_{pk}$  = minimum izmed  $P_{pL}$  in  $P_{pU}$

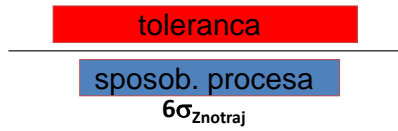
$P_{pL}$  = srednja vrednost procesa minus spodnja specificirana meja, deljeno s polovico **dolgoročne** širine procesa

$P_{pU}$  = zgornja specificirana meja minus srednja vrednost procesa, deljeno s polovico **dolgoročne** širine procesa

# Sposobnost in zmogljivost procesa

**Cp**

Toleranca, deljena s sposobnostjo procesa



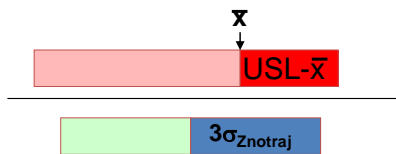
**Pp**

Toleranca, deljena z zmogljivostjo procesa



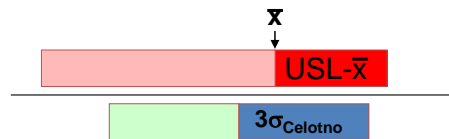
**Cpk**

Razdalja med povprečjem procesa in najbližjo tolerančno mejo, deljena s polovično sposobnostjo procesa



**Ppk**

Razdalja med povprečjem procesa in najbližjo tolerančno mejo, deljena s polovično zmogljivostjo procesa



Pregled definicij za Cp/Cpk in Pp/Ppk.

### Sposobnost in zmogljivost

- Sposobnost procesa: "**Potencialna**" sposobnost procesa  
( $C_p$  in  $C_{pk}$ )
- Zmogljivost procesa: "**Celotna**" zmogljivost procesa  
( $P_p$  in  $P_{pk}$ )
- Kaj proces zmore ( $C_p$ ) in kaj proces počne ( $P_{pk}$ )

### Proces Six Sigma

- Sposobnost:  $C_p = 2,00$
- Zmogljivost:  $P_{pk} = 1,5$

Če vaša analiza uporablja samo splošne vzroke variabilnosti, potem uporabite sposobnost procesa ( $C_p$  in  $C_{pk}$ ). Če vaša analiza upošteva posebne vzroke variabilnosti ali uporablja podatke, zbrane v daljšem obdobju, pa uporabite zmogljivost procesa ( $P_p$  in  $P_{pk}$ ).

$C_p$  vam pove, česa je zmožen vaš proces (potencialna zmogljivost procesa).  $P_{pk}$  vam pove trenutno realno zmogljivost.

$6\sigma$  proces je enakovreden  $C_{pk} = 2,0$  in  $P_{pk} = 1,5$ .



## Sposobnost in zmogljivost procesa

Potrebna je vrednost Ppk = 1,5, da pridemo pod 3,4 ppm

$\sigma$	Ppk	PPM
2	0,2	308537
3	0,5	66807
4	0,8	6210
5	1,2	233
6	1,5	3,4

Tabela prikazuje odvisnost med stopnjo sigma, vrednostjo Ppk in pričakovanim nivojem PPM.

Cilj organizacij Six Sigma je stopnja Sigma 6, ki ustreza Ppk = 1,5 in 3,4 PPM.

## Povzetek

---

- Kakovost procesa v Six Sigma merimo s kratko- in dolgoročnimi zmogljivostmi.
- Vrednosti zmogljivosti ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$ ,  $P_{pk}$ ) so pokazatelj zmogljivosti procesa glede na procese Six Sigma.
- Za procese Six Sigma velja,  $C_p = 2$ ,  $P_p = 1,5$ .



## Avtorji

To učno gradivo je bilo certificirano v skladu s pravili **ECQA – Evropskega združenja za certificiranje in kvalificiranje**.

Učno gradivo je bilo usklajeno med univerzami in industrijo v okviru mednarodnega konzorcija projekta **“Automotive Quality Universities – AutoUniverse (AQU)”**:

**VSB – Technical University of Ostrava**, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Češka, [www.fei.vsb.cz/en](http://www.fei.vsb.cz/en)

**Graz University of Technology**, Institute for Technical Informatics, Avstrija, [www.iti.tugraz.at](http://www.iti.tugraz.at)

**University of Applied Sciences JOANNEUM**, Institute for Automotive Engineering, Graz, Avstrija, <https://www.fh-joeanneum.at/en/institut/automotive-engineering/>

**EMIRAcle – European Manufacturing and Innovation Research Association**, Belgija, <http://www.emiracle.eu/>

**Univerza v Mariboru**, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Slovenija, <https://feri.um.si/>

**ISCN Ltd./Ges.m.b.H.**, Irska/Avstrija, [www.iscn.com](http://www.iscn.com)

**ECQA – European Certification and Qualification Association**, Avstrija, [www.ecqa.org](http://www.ecqa.org)

Ta projekt je bil financiran s podporo programa Erasmus+ Evropske komisije po pogodbi 2015-1-CZ01-KA203-013986 - 2015 – 2017.

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Ta publikacija/sporočilo odraža stališče avtorjev in Komisija ne prevzema odgovornosti za kakršnokoli uporabo informacij, ki jih vsebuje.

ECQA certificirano učno gradivo

U3.E1-SIXSIGMA-16

To učno gradivo je bilo certificirano v skladu s pravili **ECQA – Evropskega združenja za certificiranje in kvalificiranje**.

Učno gradivo je bilo usklajeno med univerzami in industrijo v okviru mednarodnega konzorcija projekta

**“Automotive Quality Universities – AutoUniverse (AQU)”**:

**VSB – Technical University of Ostrava**, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Češka, [www.fei.vsb.cz/en](http://www.fei.vsb.cz/en)

**Graz University of Technology**, Institute for Technical Informatics, Avstrija, [www.iti.tugraz.at](http://www.iti.tugraz.at)

**University of Applied Sciences JOANNEUM**, Institute for Automotive Engineering, Graz, Avstrija, <https://www.fh-joeanneum.at/en/institut/automotive-engineering/>

**EMIRAcle – European Manufacturing and Innovation Research Association**, Belgija, <http://www.emiracle.eu/>

**Univerza v Mariboru**, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Slovenija, <https://feri.um.si/>

**ISCN Ltd./Ges.m.b.H.**, Irska/Avstrija, [www.iscn.com](http://www.iscn.com)

**ECQA – European Certification and Qualification Association**, Avstrija, [www.ecqa.org](http://www.ecqa.org)

Ta projekt je bil financiran s podporo programa Erasmus+ Evropske komisije po pogodbi 2015-1-CZ01-KA203-013986 - 2015 – 2017.

AQUA – Zavezništvo znanja za kakovost usposabljanja in odličnost v avtomobilski industriji je vzpostavilo zavezništvo za kakovost – LLP projekt EAC-2012-0635 - 2013 – 2014.

Ta publikacija/sporočilo odraža stališče avtorjev in Komisija ne prevzema odgovornosti za kakršnokoli uporabo informacij, ki jih vsebuje.

U1.E1-Varnost-16