



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za osnove elektrotehnike i električka mjerenja



10. TEMA

ANALIZA SPOSOBNOSTI PROCESA

Prof.dr.sc. Roman Malarić

Kolegij “Upravljanje kakvoćom”
Zagreb, 2013.

TEME

- ❑ Granice specifikacije
- ❑ Indeks sposobnosti procesa
- ❑ Statistička kontrola procesa
- ❑ Kontrolne karte
- ❑ Primjeri

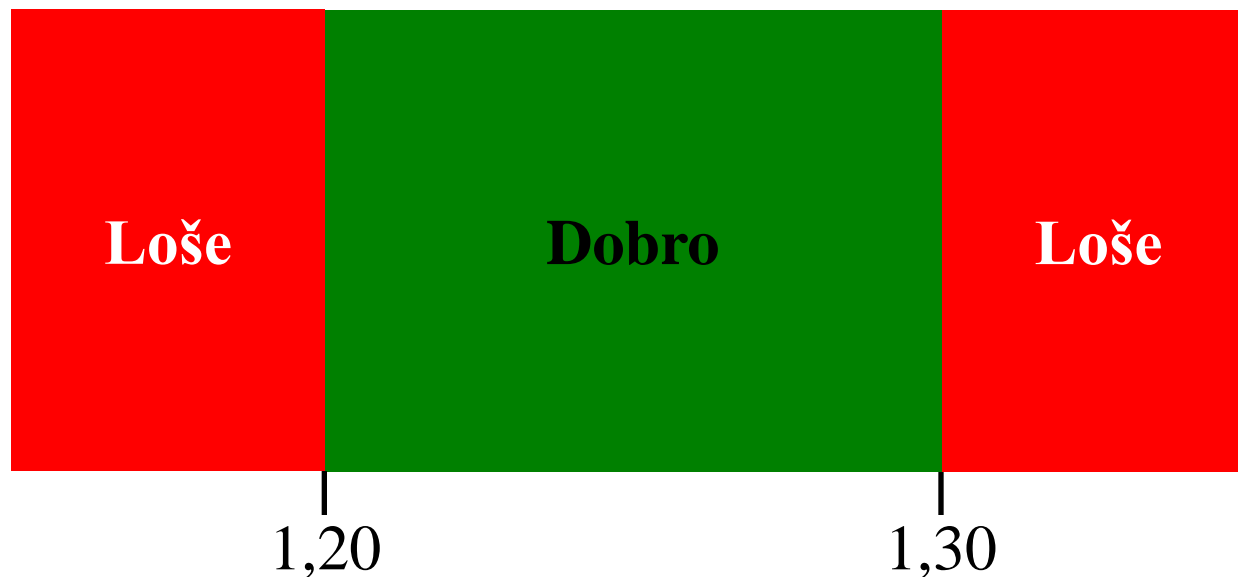
Granice specifikacije (tolerancije)

- ❑ U procesima je nužno prihvatiti određenu mjeru promjenjivosti zbog ograničenja u proizvodnji
- ❑ Tolerancije određuju granice promjenjivosti koje opisuje neki parametar (npr. promjer)
- ❑ Granice specifikacije (tolerancije):
 - definirane u proizvodnom procesu ili od korisnika
 - granice = cilj \pm tolerancija
 - jednoznačno određuju ispravan od neispravnog proizvoda
 - LSL – donja granica specifikacije (lower specification limit)
 - USL – gornja granica specifikacije (upper specification limit)

Granice specifikacije

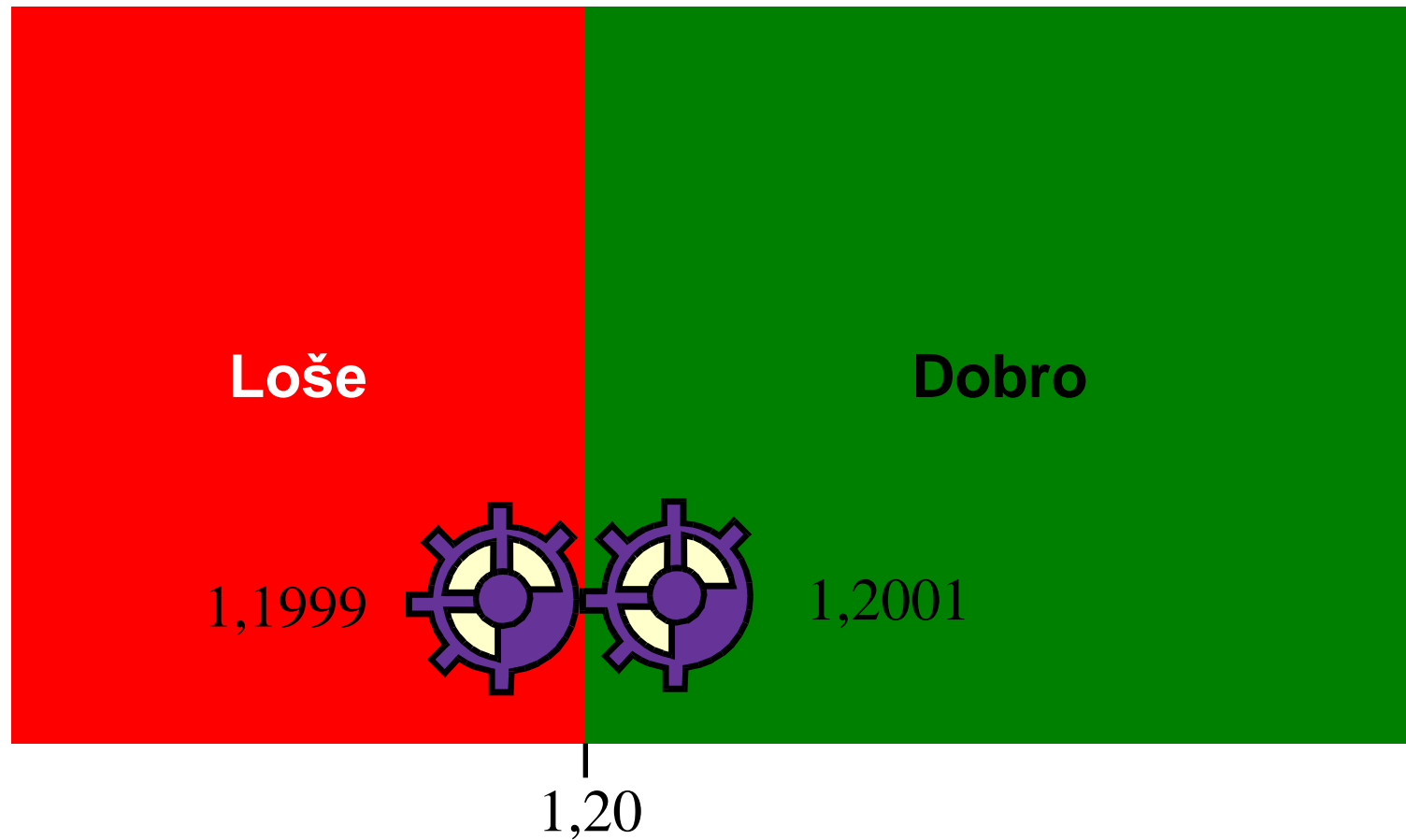
Tradicionalno mišljenje

- Unutar specifikacija = **Dobro**
- Izvan specifikacija = **Loše**

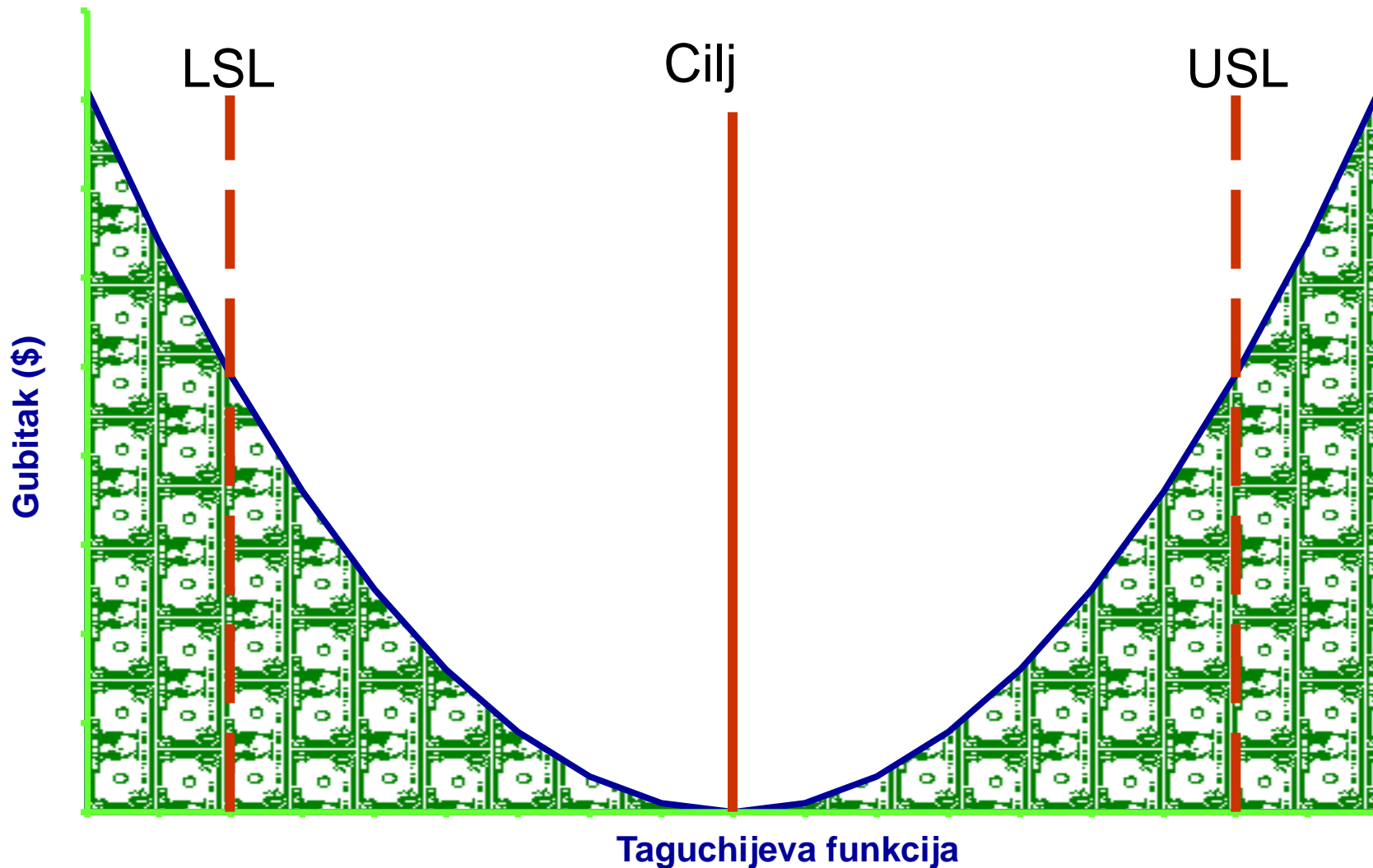


Granice specifikacije

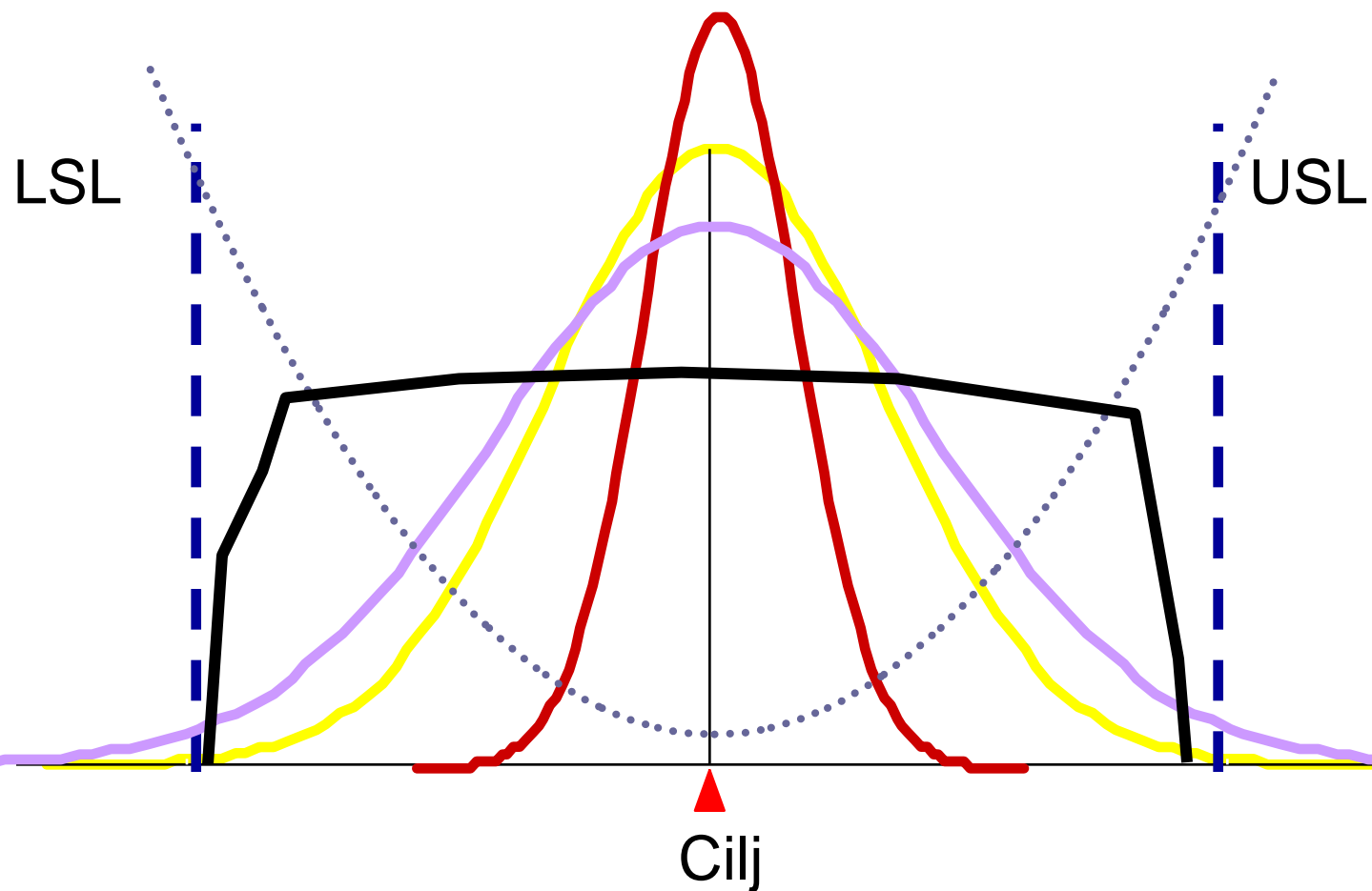
Granični slučajevi?



Taguchijeva funkcija gubitaka



Kakvoća se povećava smanjenjem promjenjivosti



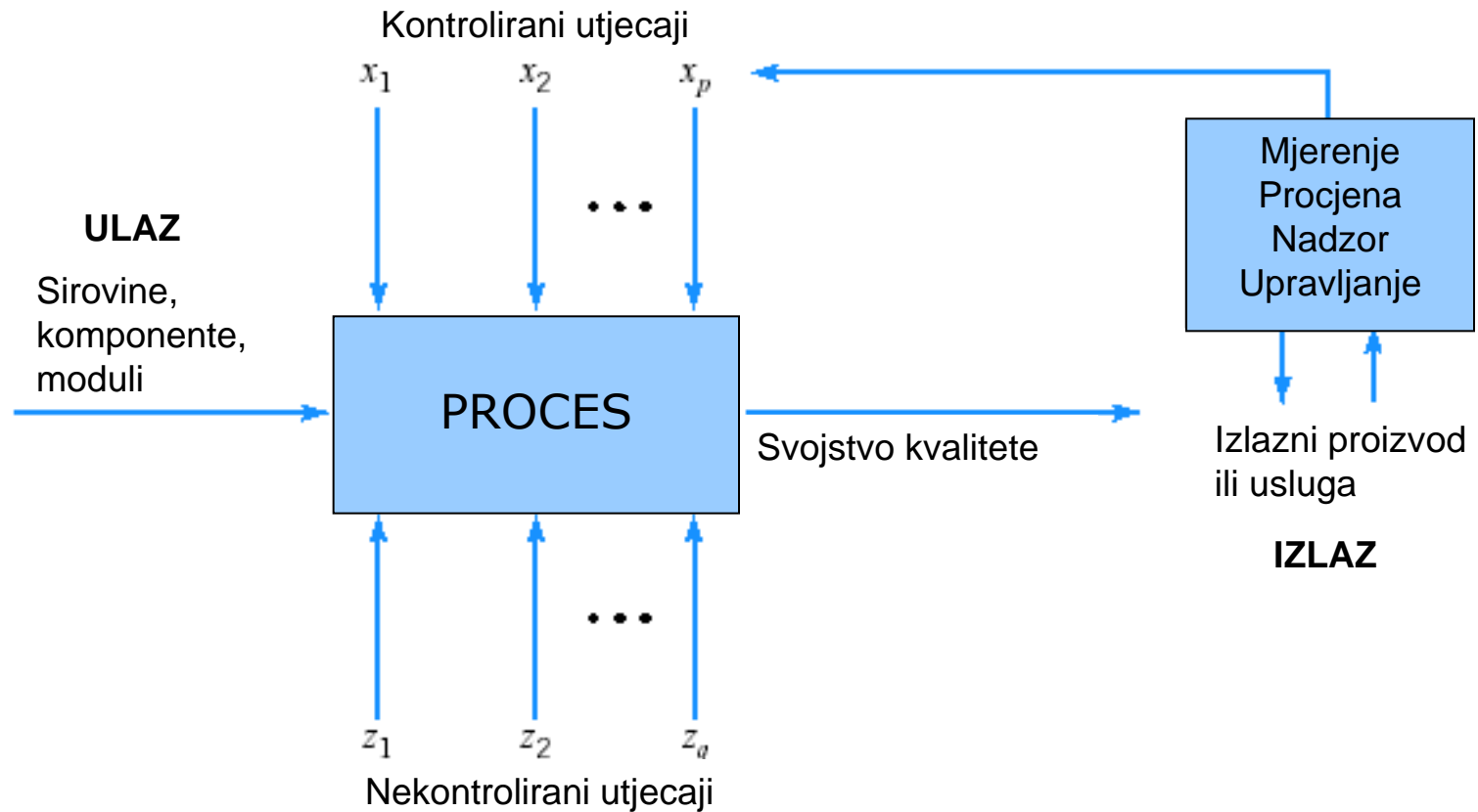
Primjer - nogometna lopta



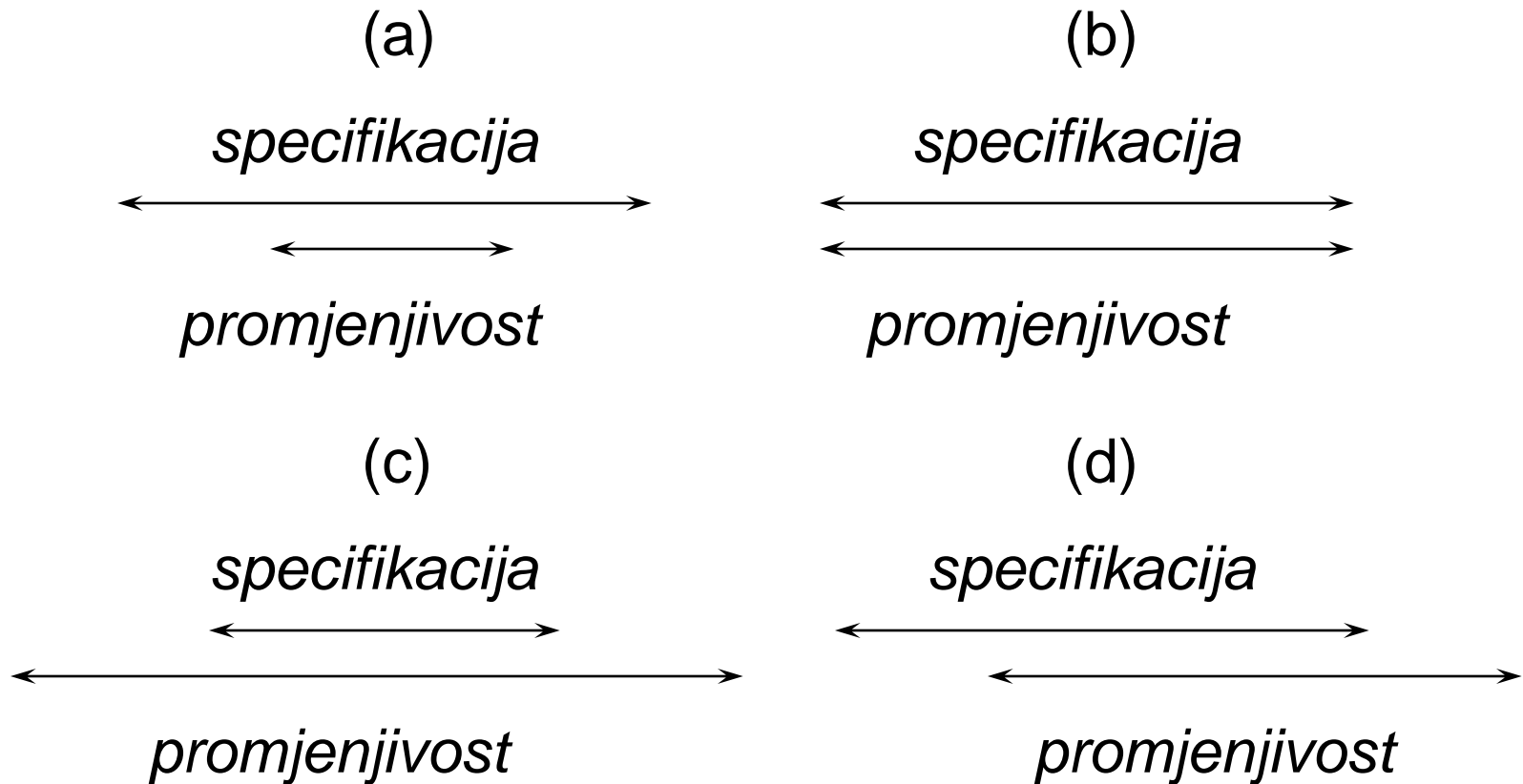
	Norma od FIFE	Adidas + Teamgeist
Opseg lopte	68.5 cm – 69.5 cm	69.0 cm – 69.25 cm
Promjer lopte	Max 1,5 % razlike	Max 1 % razlike
Upijanje vode	Max 10 % veća težina	Max 0,1 % veća težina
Težina lopte	420 do 445 g	441 do 444 g
Zadržavanje oblika lopte	2000 udaraca s 50 km/h	3500 udaraca s 50 km/h
Odbijanje lopte	Max 10 cm	Max 2 cm



Procesni pristup



Sposobnost procesa



Sposobnost procesa

- Proces je sposoban ako je raspon zahtjeva veći ili jednak od raspona procesa
- **Raspon zahtjeva** (tolerancijsko područje) **T** je područje između gornje (USL) i donje granice specifikacije (LSL), odnosno **$T = USL - LSL$**
- **Raspon procesa** podrazumijeva područje unutar $\pm 3\sigma$ (tri standardna odstupanja, tj. ukupno 6σ) u odnosu na sredinu procesa (99,73 % površine ispod krivulje normalne raspodjele kojom se aproksimira proces)
- **Temeljni uvjet sposobnosti procesa je: $T \geq 6\sigma$**

Indeks sposobnosti procesa

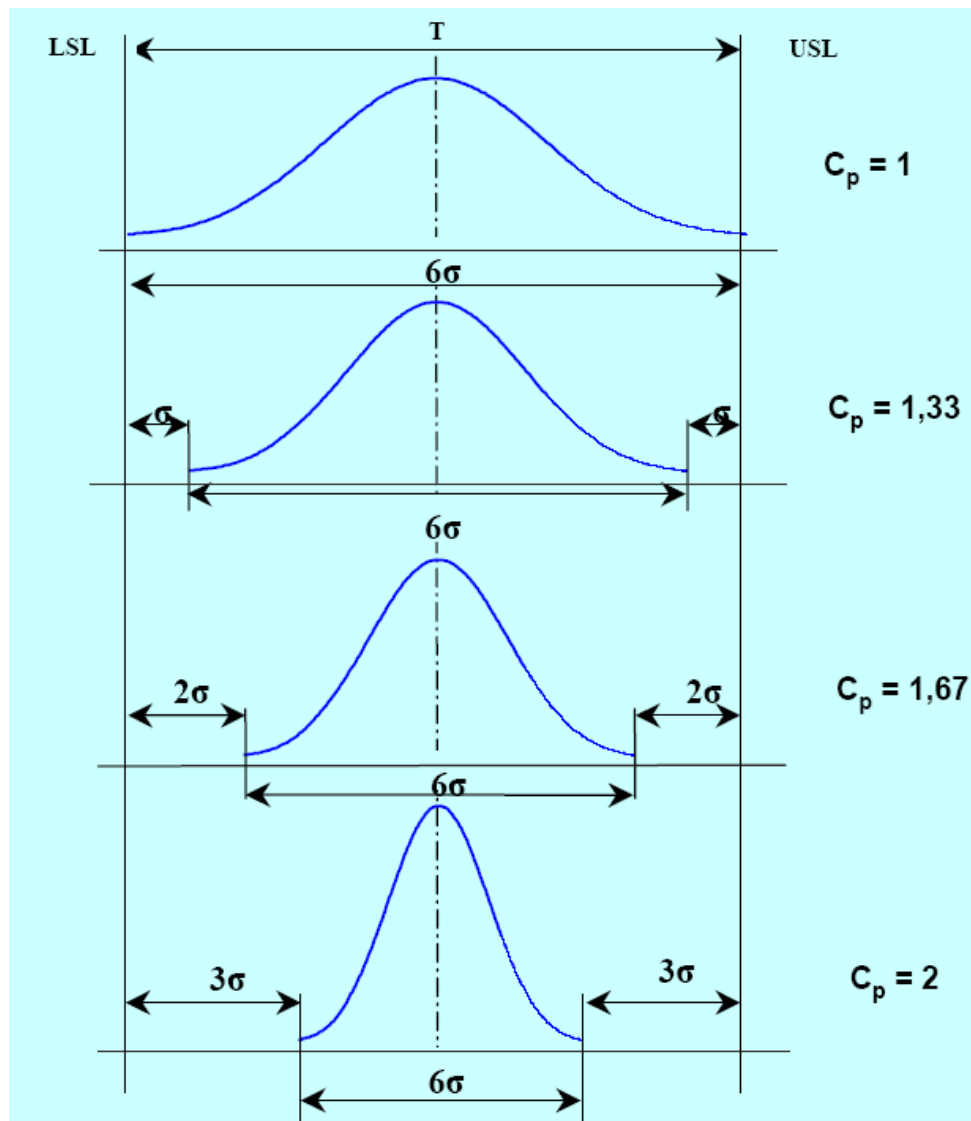
- Indeks sposobnosti procesa C_p je definiran kao omjer raspona zahtjeva i raspona procesa

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

- Njime se uspoređuju granice specifikacije i prirodna promjenjivost u nekom procesu pomoću jedne kvantitativne mjere
- Računanje i pravilna interpretacija indeksa sposobnosti procesa temelji se na pretpostavkama:
 - da se razdioba podataka može aproksimirati normalnom
 - proces koji se razmatra je stabilan i bez značajnih uzroka promjenjivosti

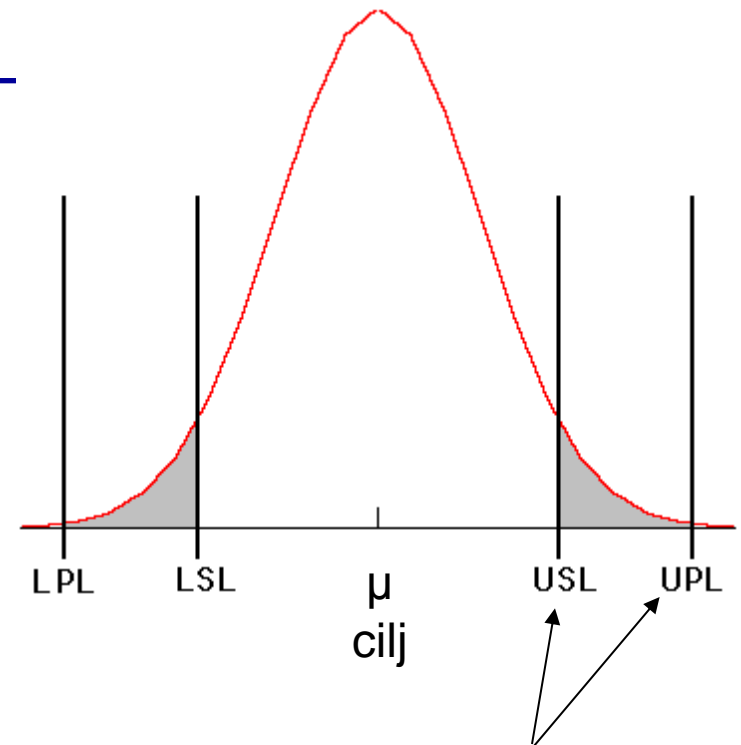
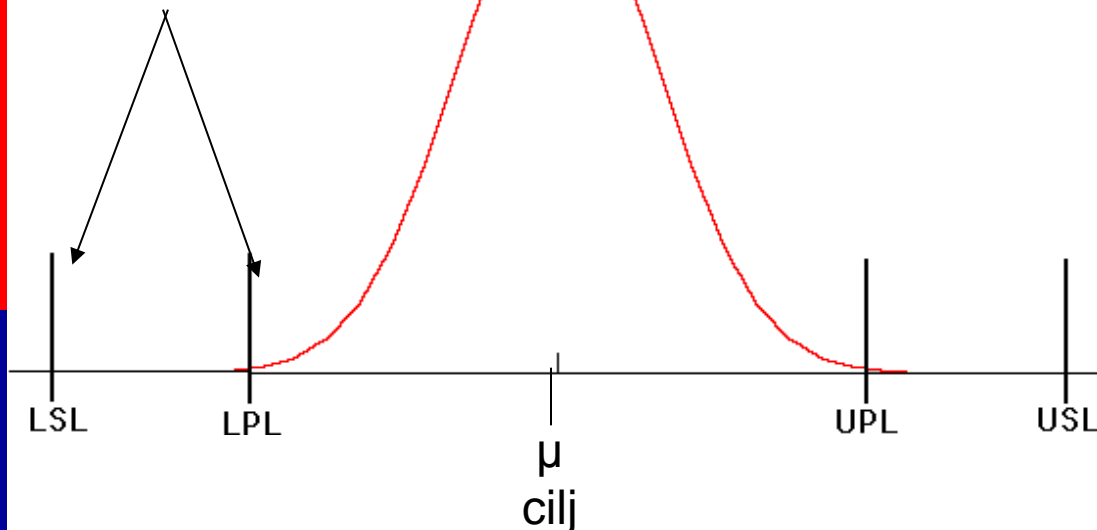
Indeks sposobnosti procesa

- Iznos indeksa C_p neposredno pokazuje je li proces sposoban
- U razvijenim zemljama danas se zahtijeva da najmanja vrijednost indeksa C_p iznosi 1,33. Taj zahtjev neke kompanije podižu na 1,67, odnosno na $C_p \geq 2$.



Indeks sposobnosti procesa

Dobra kakvoća:
defektni proizvod je
rijedak ($C_p > 1$)



Loša kakvoća:
defektni proizvod je
uobičajen ($C_p < 1$)

C_p određuje “sposobnost procesa”

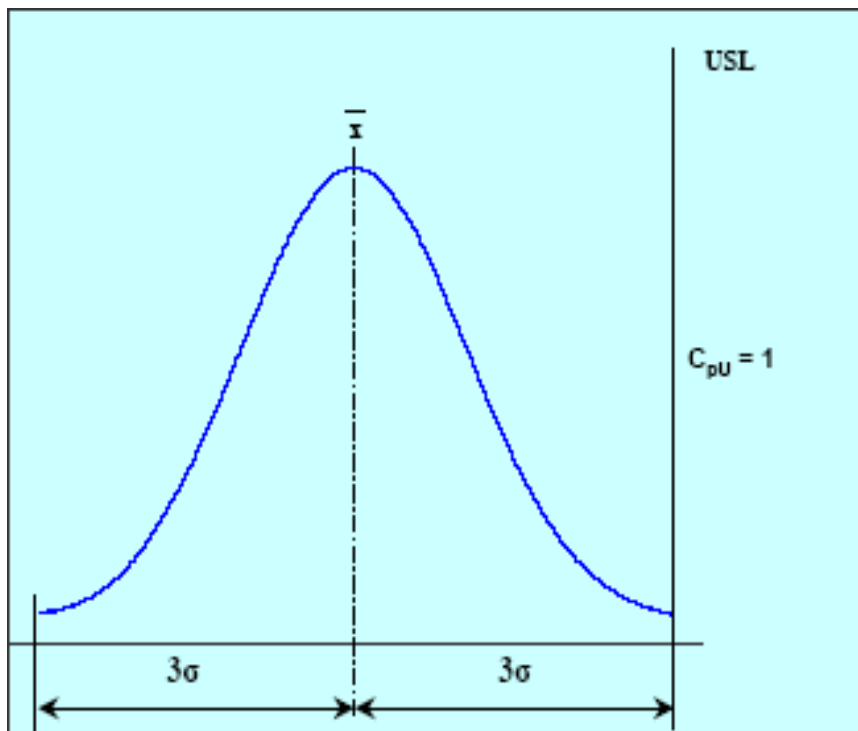
Indeks sposobnosti procesa

- Uvažavajući vrijeme odvijanja procesa, procjenjivanje sposobnosti (i pripadajući indeks) može pripadati jednoj od sljedeće tri kategorije:
 1. Sposobnost procesa u **dužem vremenskom razdoblju** (Long-Term Process Capability);
 - Indeks sposobnosti procesa računa se za razložno dugo vremensko razdoblje u kojem su se mogle pojaviti sve moguće promjenjivosti procesa; preporuka je 20 dana
 2. **Preliminarna** sposobnost procesa (Preliminary Process Capability);
 3. Sposobnost u **kratkom vremenskom razdoblju** (Short-Term Capability).

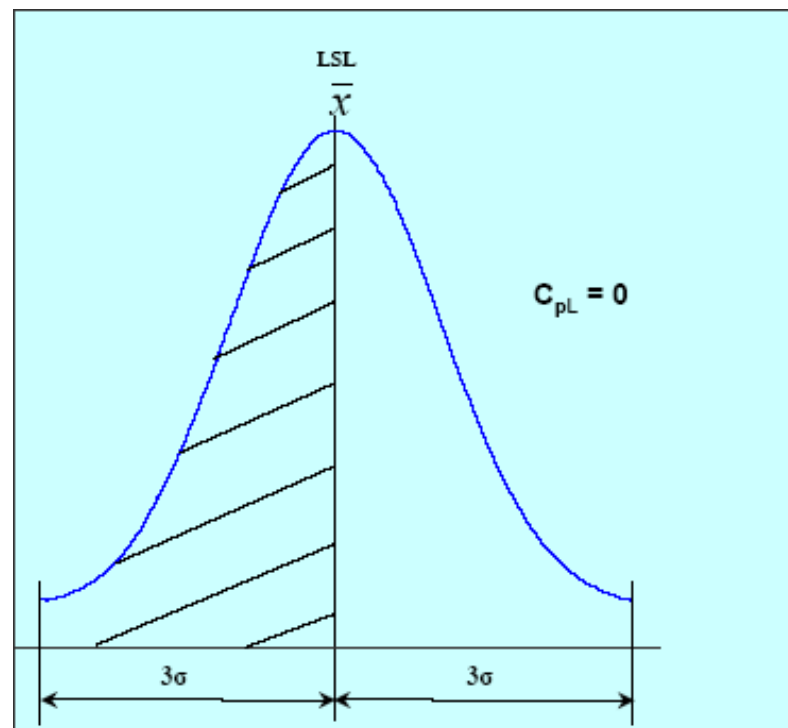
Donja i gornja potencijalna sposobnost C_{pL} i C_{pU}

- Indeks C_p ne pokazuje kako je smješten proces u odnosu na granice specifikacija. To se može utvrditi usporedbom iznosa indeksa C_{pL} i C_{pU} :
- Iznosi indeksa C_{pL} i C_{pU} računaju se izrazima:
$$C_{pL} = (\text{sredina procesa} - \text{LSL}) / 3\sigma$$
$$C_{pU} = (\text{USL} - \text{sredina procesa}) / 3\sigma$$
- Identični iznosi ukazuju na potpunu centriranost procesa (iznosi indeksa jednaki su iznosu indeksa C_p)
- Iznos manji od 1 ukazuje na pojavu neskladnosti; proces je pomaknut prema granici specifikacije manjeg iznosa indeksa

Donja i gornja potencijalna sposobnost C_{pL} i C_{pU}



Primjer: dobar (granični) slučaj kad je $C_{pU} = 1$ (tj. granica od 3σ odgovara USL)



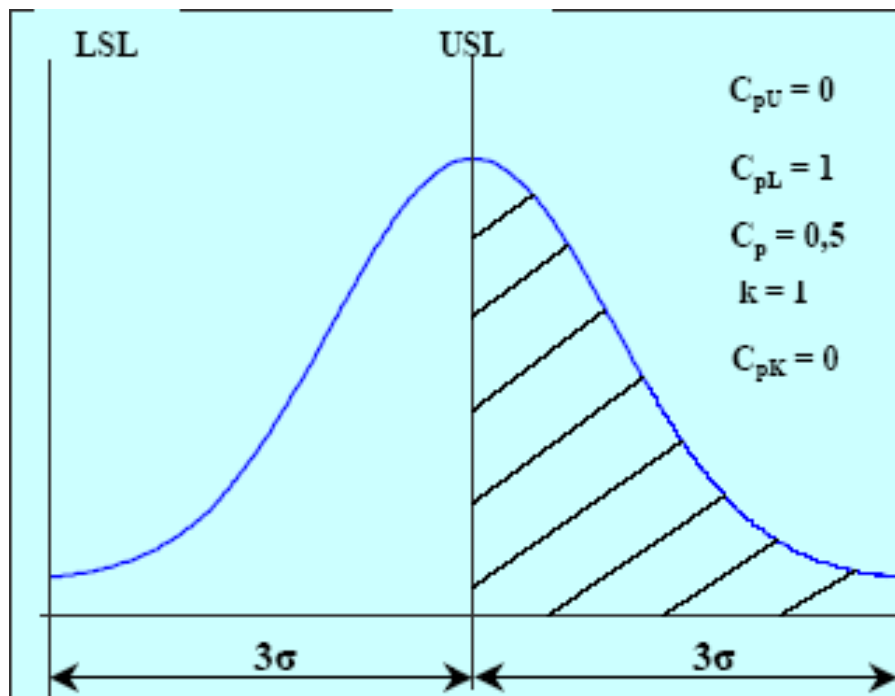
Primjer: loš slučaj kad je $C_{pL} = 0$ (tj. sredina razdiobe odgovara LSL)

Indeks sposobnosti procesa C_{pk}

□ $C_{pk} = \min(C_{pL}, C_{pU})$

- C_{pk} se može izraziti i drugačije: $C_{pk} = C_p(1-k)$, dok se faktor k dobiva kao omjer pomaka procesa i raspona zahtjeva

□ Ako je proces idealno centriran tada je $C_{pk} = C_p$.



Primjer: loš slučaj kad je $C_{pU} = 0$ (tj. sredina razdiobe odgovara USL), pa je i $C_{pk} = 0$

Indeksi sposobnosti procesa

- Pregledni zapis obrađenih indeksa sposobnosti procesa:

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

$$C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

$$C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

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

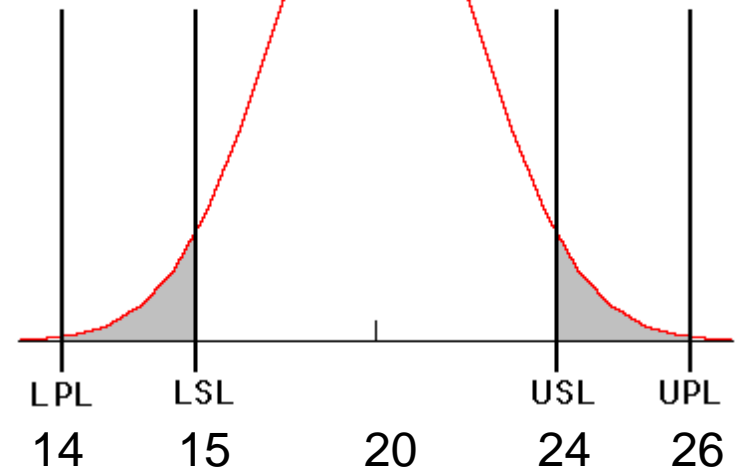
Računanje indeksa sposobnosti procesa

Dobra kakvoća ($C_{pk} > 1$)

Loša kakvoća ($C_{pk} < 1$)

$$C_{pk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} = \frac{24 - 20}{3 \cdot 2} = 0,667 \\ \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} = \frac{20 - 15}{3 \cdot 2} = 0,833 \end{array} \right.$$

$$3\sigma = UPL - \bar{x} = \bar{x} - LPL = 6$$



Računanje indeksa sposobnosti procesa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Process Capability Analysis																
2																	
3	This spreadsheet is designed to handle up to 150 observations. Enter data ONLY in yellow-shaded cells.																
4																	
5	Nominal specification				10.75	Average				10.7171		Cp		0.96			
6	Upper tolerance limit				11	Standard deviation				0.0868		Cpl		0.833			
7	Lower tolerance limit				10.5							Cpu		1.086			
8												Cpk		0.833			
9																	
10	DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
11	1	10.650	10.800	10.500	10.800	10.700	10.800	10.750	10.650	10.850	10.650	10.800	10.650				
12	2	10.750	10.850	10.800	10.800	10.700	10.700	10.850	10.700	10.800	10.550	10.700	10.850				
13	3	10.750	10.700	10.650	10.800	10.650	10.650	10.750	10.650	10.500	10.800	10.750	10.800				
14	4	10.600	10.650	10.650	10.700	10.600	10.750	10.800	10.850	10.650	10.650	10.700	10.600				
15	5	10.700	10.750	10.700	10.750	10.550	10.700	10.850	10.700	10.750	10.600	10.750	10.700				
16	6	10.600	10.900	10.850	10.750	10.650	10.650	10.600	10.750	10.750	10.600	10.650	10.650				
17	7	10.600	10.750	10.800	10.700	10.600	10.850	10.850	10.850	10.800	10.850	10.850	10.800				
18	8	10.750	10.750	10.700	10.700	10.700	10.600	10.650	10.850	10.750	10.650	10.700	10.650				
19	9	10.650	10.650	10.750	10.800	10.650	10.900	10.650	10.750	10.700	10.750	10.700	10.700				
20	10	10.600	10.600	10.750	10.800	10.750	10.850	10.750	10.750	10.700	10.650	10.600	10.650				
21																	

Preliminarna sposobnost procesa

- ❑ Preliminarno procjenjivanje sposobnosti procesa provodi se na početku odvijanja procesa ili nakon relativno kratkog vremena praćenja procesa. Preporuka je da se razmatra uzorak od najmanje 100 jedinica
- ❑ U nazivlju indeksa se umjesto termina sposobnost (capability) koristi **termin značajka (performance)**. U tom smislu se indeksi označavaju analogno kao P_p , P_{pL} , P_{pU} i P_{pk}
- ❑ **Zahtjevi na najmanje iznose indeksa P_p i P_{pk} su stroži nego za iznose indeksa C_p i C_{pk} (npr. ako je zahtjev za $C_p \geq 1,33$ tada je ekvivalentni zahtjev za $P_p \geq 1,67$)**

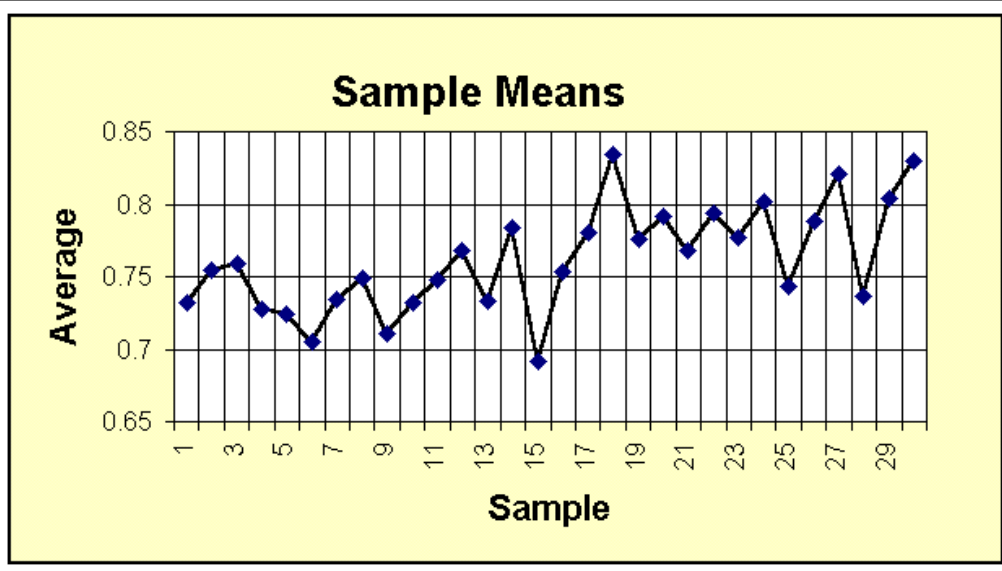
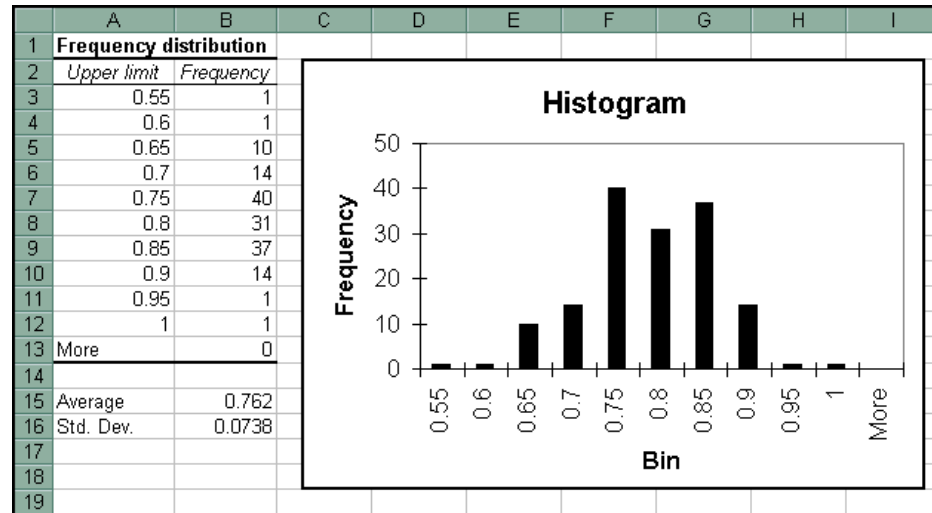
Statistička kontrola procesa

- ❑ Statistička kontrola procesa (*Statistical Process Control* – SPC): metodologija za praćenje procesa koja služi za:
 - identificiranje posebnih uzroka promjenjivosti
 - davanje signala za popravnu radnju kada je to potrebno
- ❑ U statističkoj kontroli procesa od iznimne važnosti su kontrolne karte



Statistička kontrola procesa

Histogrami ne uzimaju u obzir tijek vremena



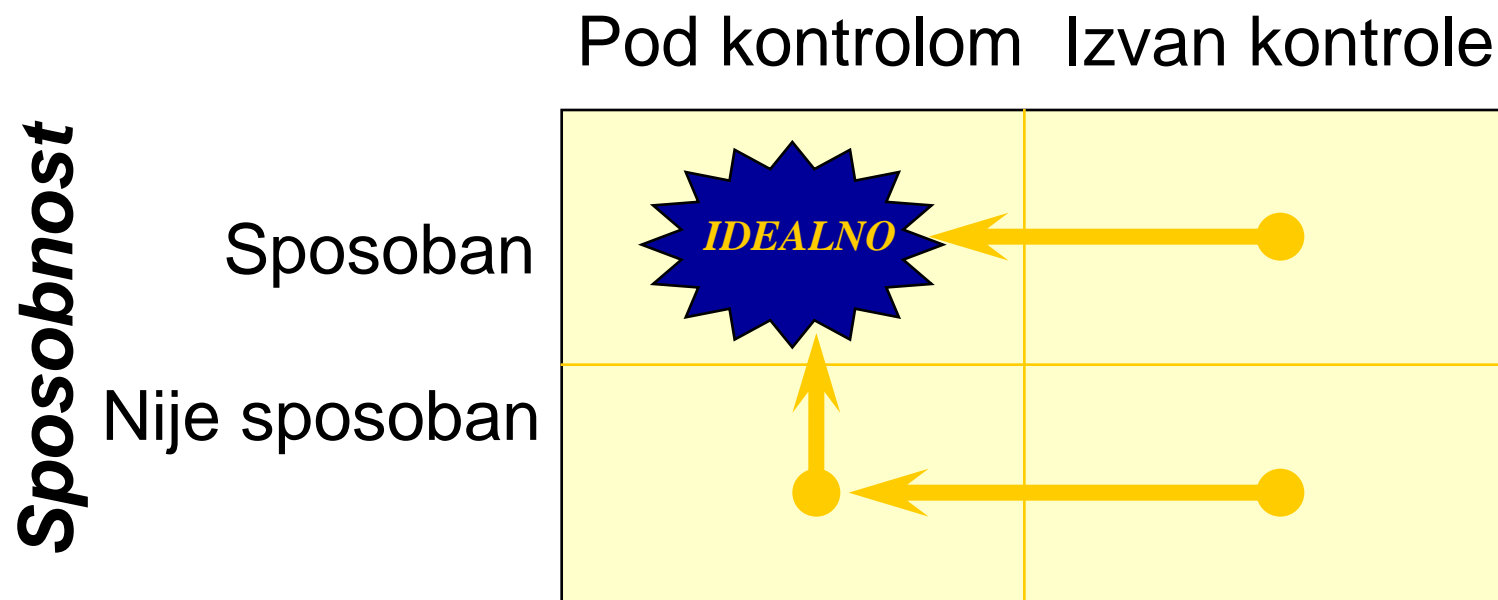
Kontrolne karte nam mogu reći kada se proces promijenio

Sposobnost procesa i kontrolirani proces

- ❑ Kontrolirani proces i sposobnost procesa se ne smiju miješati
- ❑ Pouzdana procjena sposobnosti procesa može se donijeti samo temeljem praćenja procesa primjenom odgovarajuće kontrolne karte i nakon dovođenja **procesa u stanje statističke kontrole** (stanje «pod kontrolom»)
- ❑ Ukoliko proces nije «pod kontrolom» računanje indeksa sposobnosti je puka formalnost i zavaravanje!

Sposobnost procesa i kontrolirani proces

Kontrola



Vrste i ciljevi kontrolnih karata

- Kontrolne karte dijele se u dvije temeljne skupine:
 - 1. kontrolne karte za mjerljive karakteristike
 - 2. kontrolne karte za atributivne karakteristike

- Ciljevi:
 - Dovođenje procesa u stanje statističke kontrole, odnosno u stanje «POD KONTROLOM»
 - Utvrđivanje trendova i pomaka procesa u cilju zaštite od neželjenih rezultata (pojave dijelova lošije kakvoće, neskladnih dijelova i sl.)

Tehnika kontrolnih karata

- Tehnika kontrolnih karata sastoji se od uzimanja većeg broja malih uzoraka iz procesa
- Važno je naznačiti da se kontrolnom kartom prate **promjene (varijacije) procesa u vremenu**; to znači da uzorci uvijek moraju biti zadnje proizvedene jedinice
- Temeljem provedenih mjerenja (kontrole) uzoraka računa se jedan ili više statističkih parametara iz dobivenih rezultata mjerenja
- Vrijednosti statističkih parametara uzoraka predmet su praćenja primjenom odgovarajuće kontrolne karte

Značajke kontrolnih karata

- Na svakoj kontrolnoj karti treba odrediti kontrolne granice i središnju liniju

- **Kontrolne granice** su:
 - donja kontrolna granica - DKG (lower control limit - LCL)
 - gornja kontrolna granica - GKG (upper control limit - UCL)

- Kontrolne granice su statističke granice i **nisu povezane** s granicama specifikacije

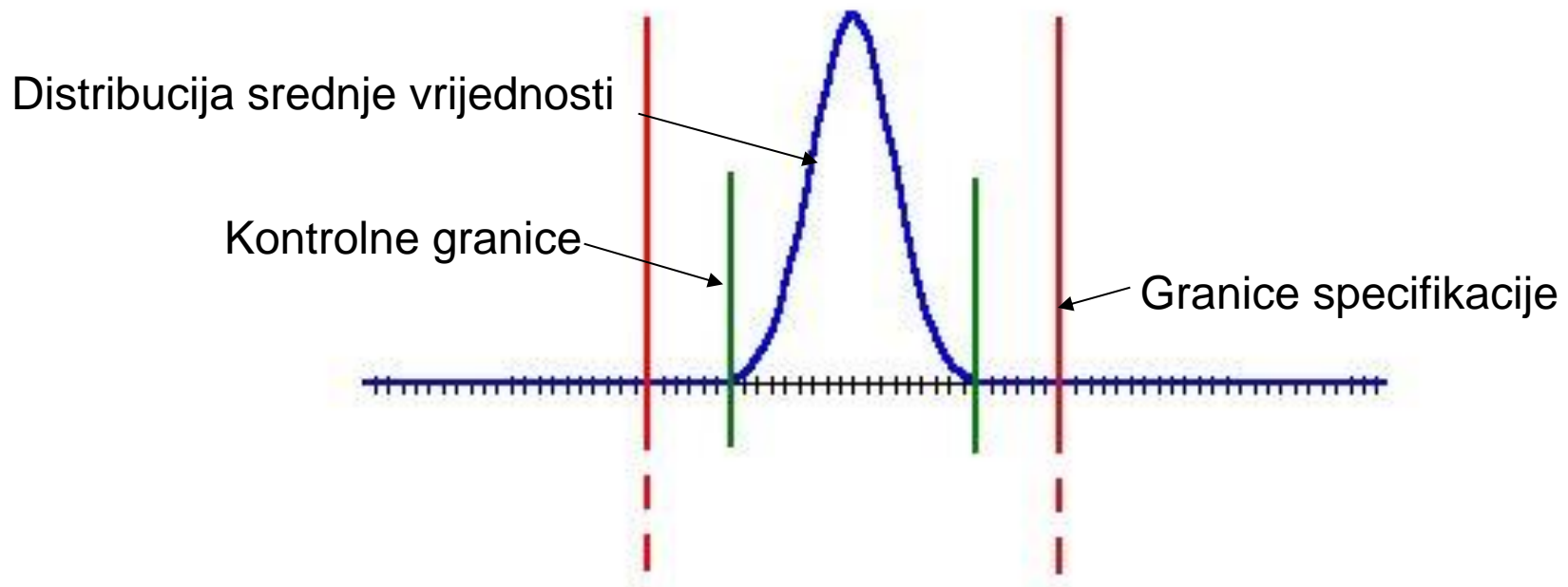
Kontrolne granice

- ❑ Kontrolne granice se postavljaju (računaju) za granice rasipanja ($\pm 3\sigma$) statističkog parametra (\bar{x} , R , s i druge) koji se prati kontrolnom kartom (računa iz uzoraka)
- ❑ Podatak izvan kontrolne granice (iznad GKG ili ispod DKG) pokazuje da se u procesu, statistički promatrano, dogodio ne slučajan već **poseban uzrok promjenjivosti** (odstupanja)
- ❑ Najefikasniji postupak poboljšavanja kakvoće praćenog procesa je *promptno otkrivanje posebnih uzroka promjenjivosti i provođenje odgovarajućih popravni radnji*

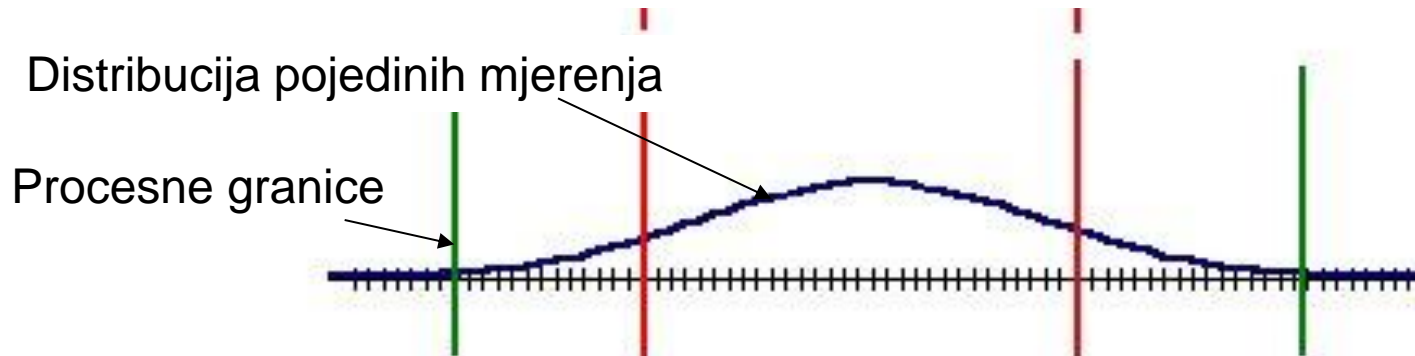
Procesne i kontrolne granice

- Procesne i kontrolne granice:
 - procesne granice se upotrebljavaju za pojedinačni proizvod
 - kontrolne granice se koriste za aritmetičke sredine
 - uobičajene granice su $(\mu \pm 3\sigma)$

Procesne i kontrolne granice



Varianca aritmetičkih sredina < varijance pojedinih dijelova (mjerjenja)



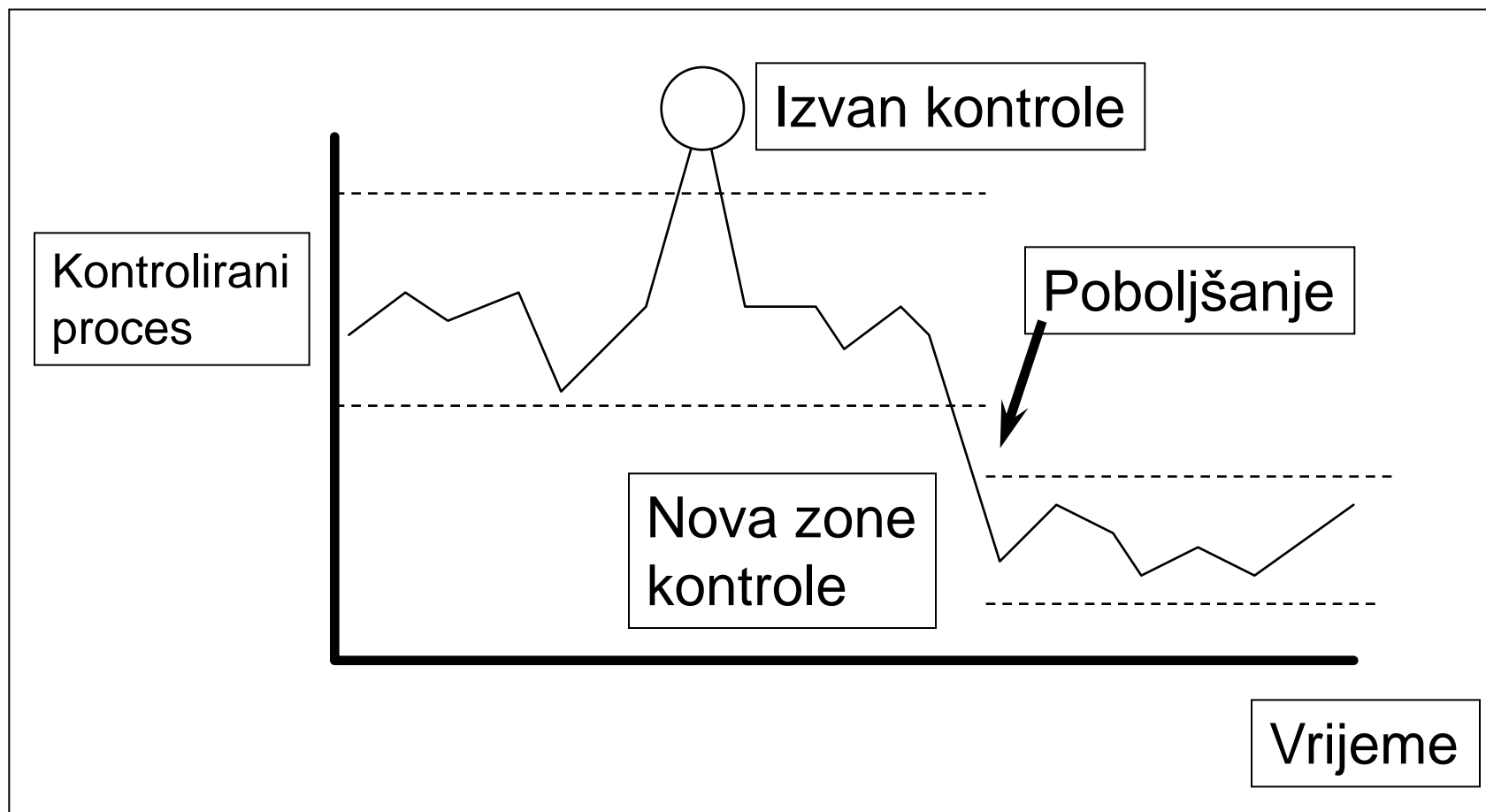
Kontrola procesa

- Kada nema podataka izvan kontrolnih granica onda se koristi termin «**PROCES JE POD KONTROLOM**»
- Termin «**POD KONTROLOM**» je statistički termin kojim se pokazuje da se proces mijenja samo pod utjecajem slučajnih, procesu svojstvenih, utjecaja
- Za proces koji je «pod kontrolom» često se koristi i termin «**STABILAN PROCES**».
- Kada su podaci izvan kontrolnih granica to nipošto ne znači da proces daje neskladne jedinice (proizvode)
- Kontrolne karte se mogu i trebaju primjenjivati kako za procese koji nužno daju neskladne proizvode ($C_p < 1$), tako i za sposobne procese ($C_p > 1$).

Kontrola procesa

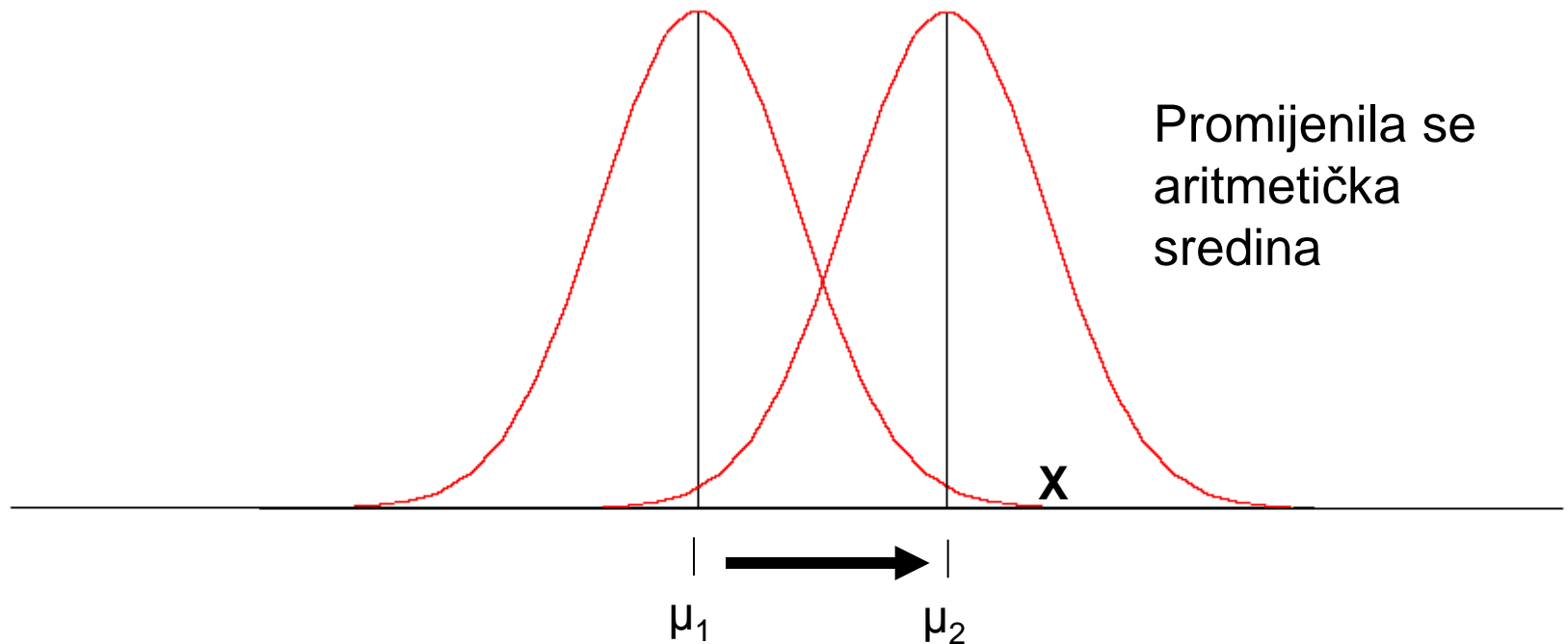
- ❑ U slučaju određivanja (računanja) kontrolnih granica za proces za koji nemamo prethodnih saznanja (nepoznate varijacije procesa) potrebno je provesti korekciju granica u slučaju pojave podataka izvan kontrolnih granica
- ❑ Ponovno računanje granica provodi se nakon eliminacije uzoraka (odgovarajućih statističkih parametara koji se prate) koji su izvan kontrolnih granica
- ❑ Za poznate procese (poznato rasipanje) kontrolne granice se postavljaju **prije** uzimanja uzoraka; to je i najprirodniji način korištenja kontrolnih karata jer se eventualna pojava značajnih odstupanja promptno može istražiti

Kontrola i poboljšanje



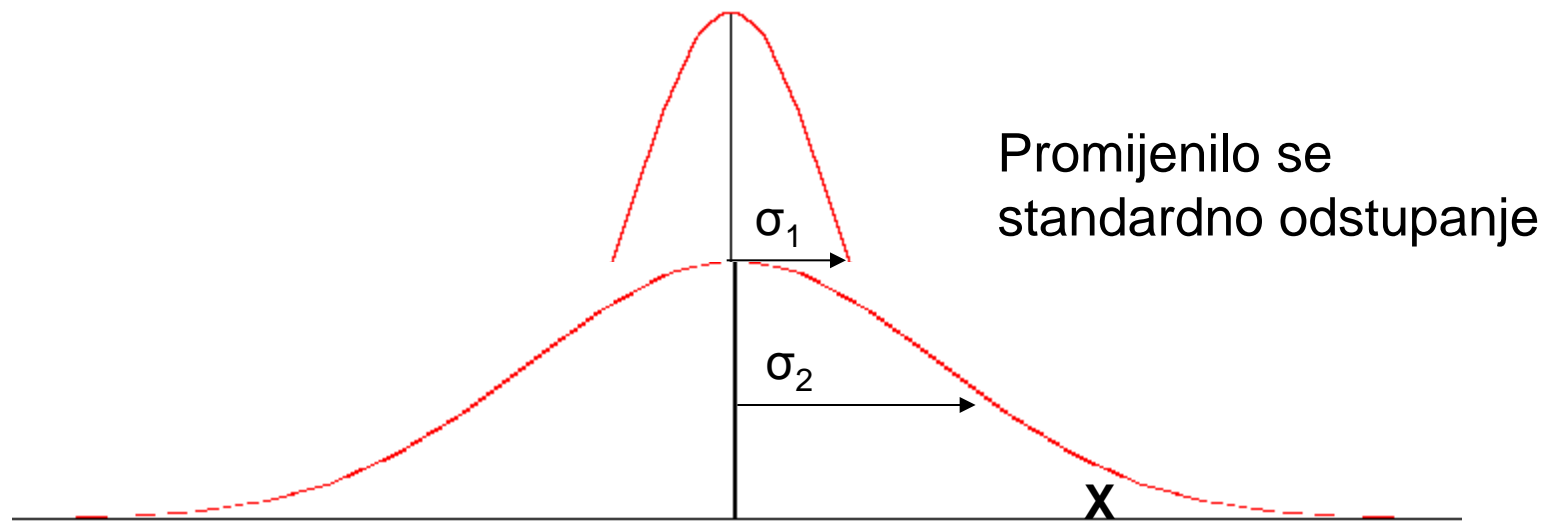
Izvan kontrole

- Kada je očitanje izvan kontrole, što možemo zaključiti?

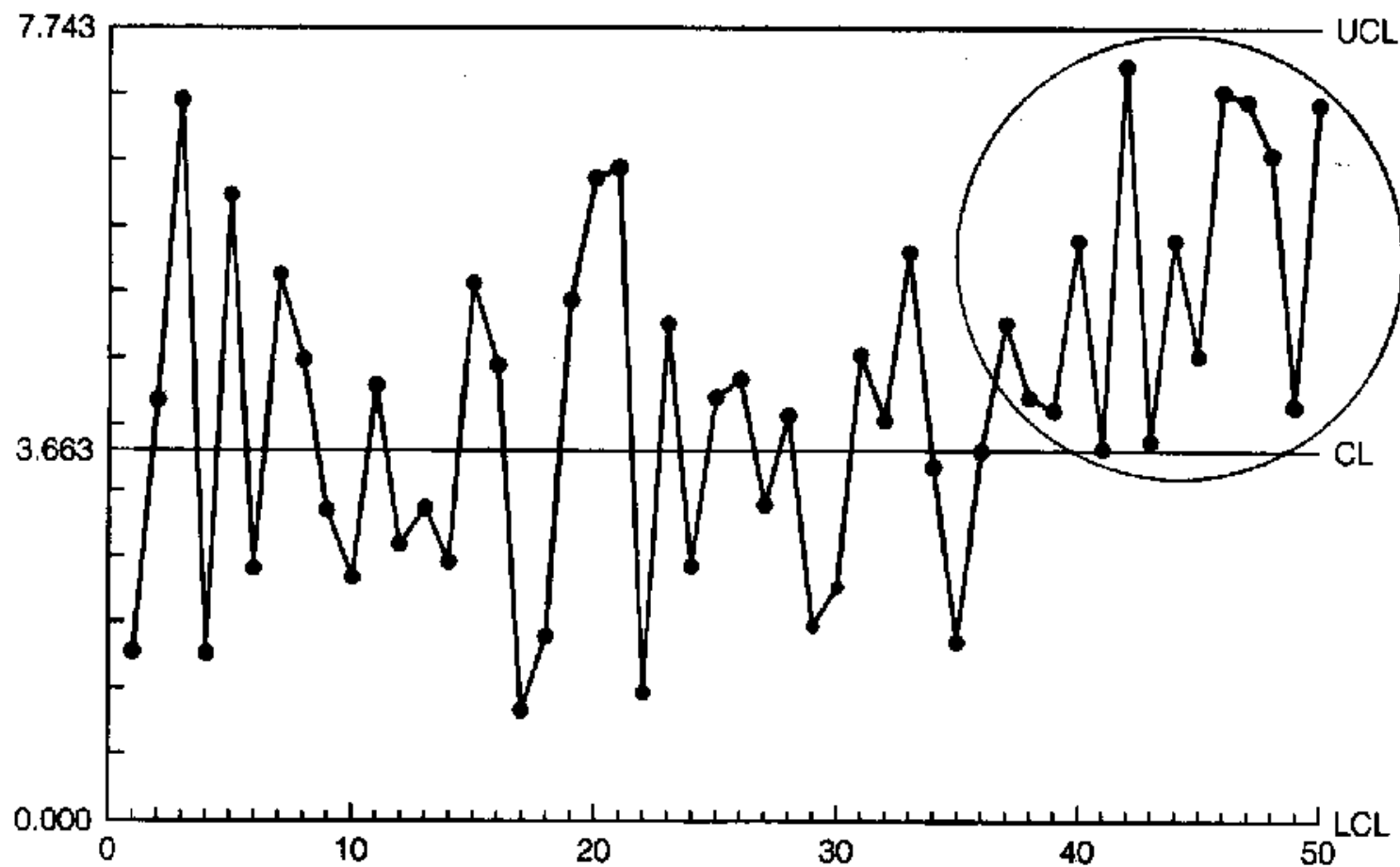


Izvan kontrole

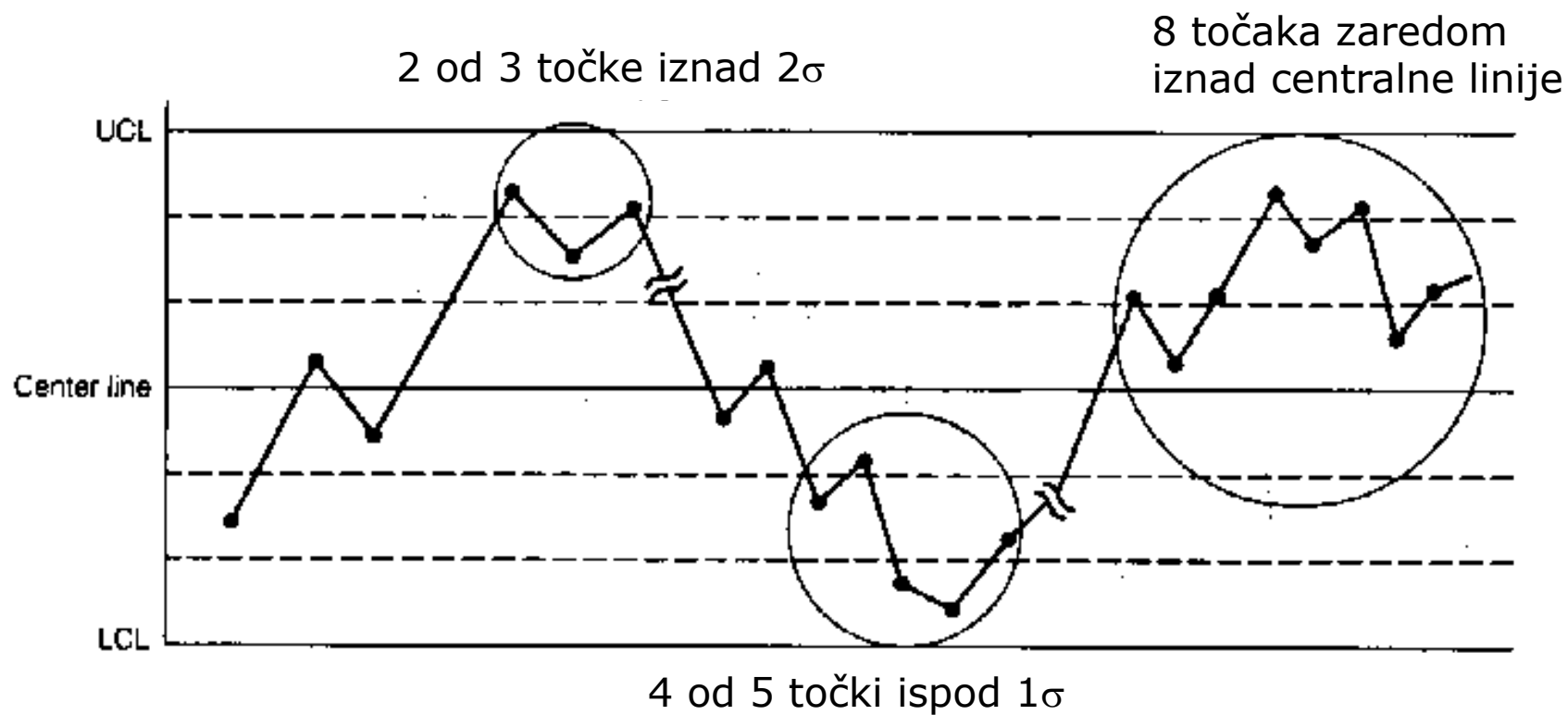
- Kada je očitavanje izvan kontrole, što možemo zaključiti?



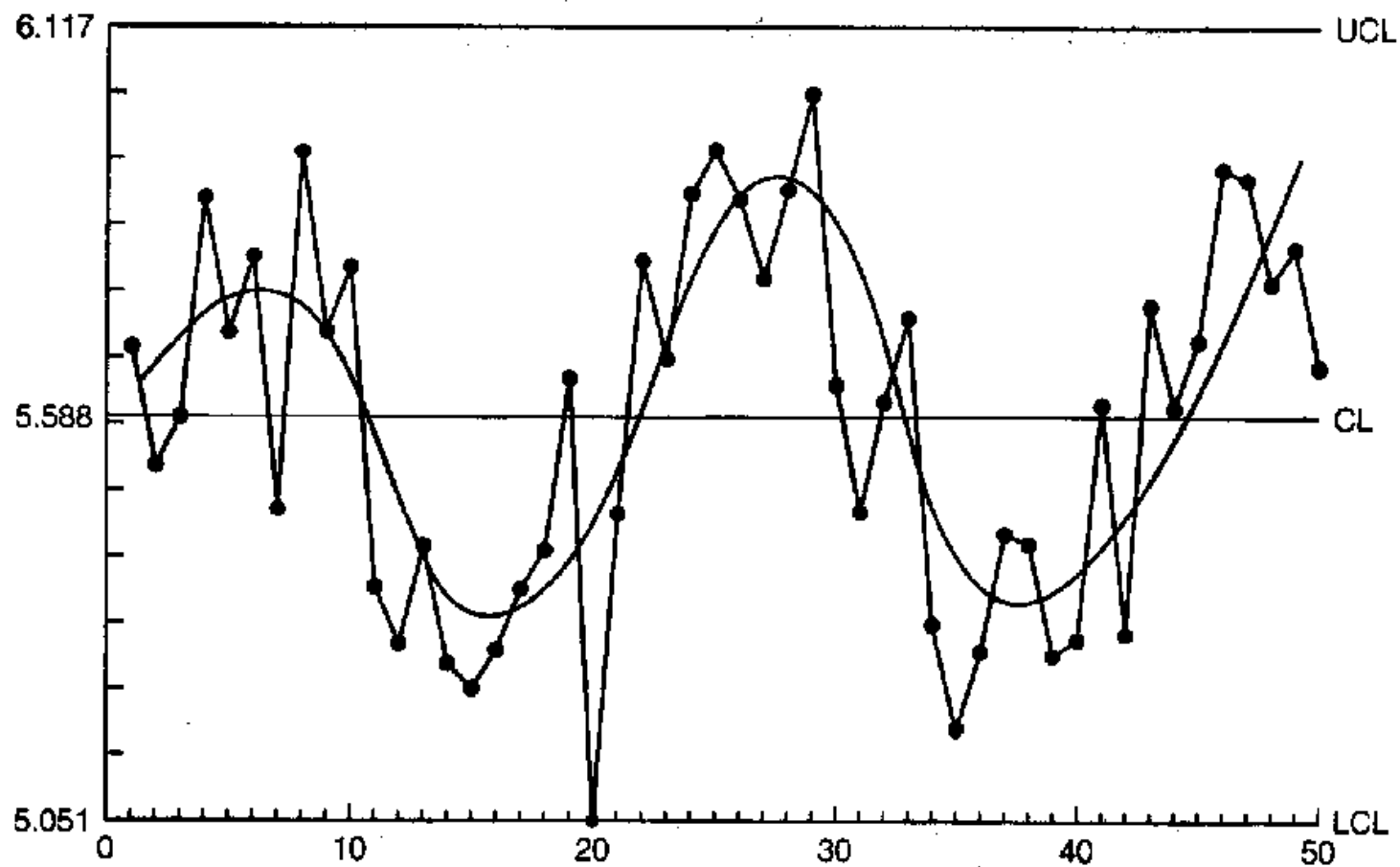
Promjena aritmetičke sredine



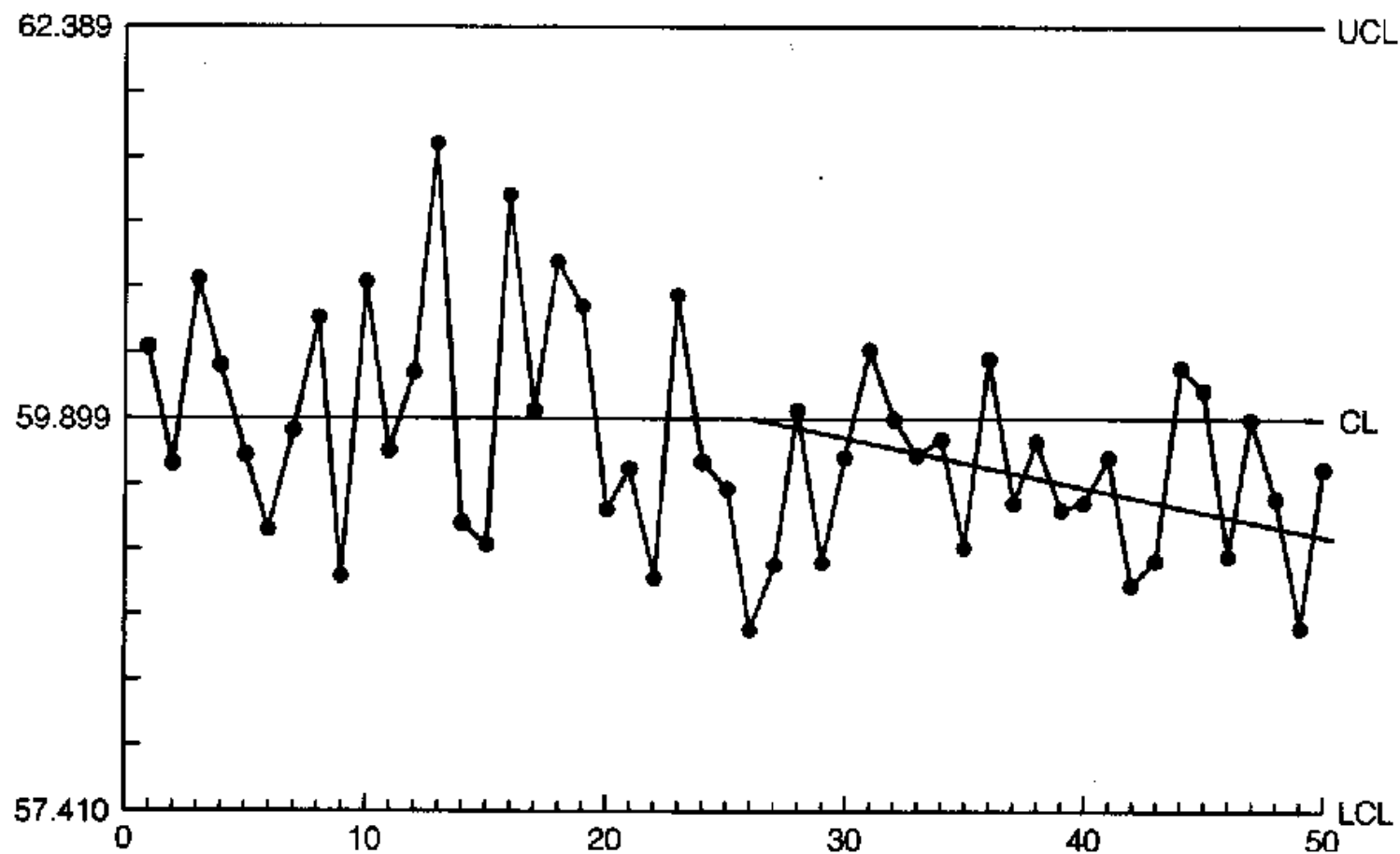
Analiza mogućih promjena



Ciklusi



Trend



Zaključak

- ❑ Indeks sposobnosti procesa C_p treba biti veći od 1 (to je minimalna vrijednost, a u praksi se traži da bude veći čak i od 2)
- ❑ Proces treba biti u stanju statističke kontrole (tj. «pod kontrolom»)
- ❑ Kontrolne karte služe za praćenje procesa