

# EVALUAREA PERFORMANȚEI ȘI CAPABILITĂȚII PROCESELOR INDUSTRIALE



## Dr.ing. Adrian PUGNA

Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Inginer mecanic-Institutul Politehnic “Traian Vuia”, Facultatea de Mecanică, secția Mecanică Fină. Autor a peste 70 de lucrări științifice, publicate în țară și în străinătate. Autor și coautor la 6 monografii, cursuri, îndrumătoare. Doctor în Inginerie mecanică din 2005, 15 ani de experiență în Asigurarea calității, Metrologie, Mecanică fină. Membru ASQ, ARR, SRM. Șef de lucrări la Universitatea „Politehnica” Timișoara, Facultatea de Management în Producție și Transporturi din Timiș.

## Dr.ing Ilie TĂUCEAN

Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Inginer, specializarea Ingineria sistemelor de producție, promoția 1997, la Universitatea Politehnica-Timișoara, Facultatea de Management în Producție și Transporturi. Autor a peste 30 articole în domeniile: inginerie industrială, inginerie economică, marketing, management, management strategic. Coautor la 4 cărți și la un îndrumător pentru disciplina managementul producției. Doctor în științe Ingineresti, domeniul Inginerie industrială. Șef de lucrări la Universitatea Politehnica-Timișoara, Facultatea de Management în Producție și Transporturi.



## Dr. ec. Matei TĂMĂȘILĂ

Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Inginer cu specializarea Ingineria sistemelor de producție, promoția 1997, la Universitatea Politehnica-Timișoara, Facultatea de Management în Producție și Transporturi. Coautor la 32 articole în domeniile: inginerie economică, marketing, management, management strategic. Coautor la 3 cărți. Doctor în științe economice, domeniul: Management. Șef de lucrări la Universitatea Politehnica-Timișoara, Facultatea de Management în Producție și Transporturi.

## REZUMAT

Indicii de performanță și de capabilitate compară, sub o formă compactă modul în care se comportă una sau mai multe caracteristici ale unui produs sau proces (sistemul tehnologic) în raport cu specificațiile Inginerești (sistemul tehnic), cu alte cuvinte se compară „vocea clientului” (asigurată prin impunerea specificațiilor de către proiectant) cu „vocea procesului” (rezultată în urma calculării limitelor de control). În lucrare se prezintă doi indicatori de performanță și capabilitate unidimensionali  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$  ce diferă numai prin modul de estimare a abaterii standard a procesului. Pentru a compara cele două măsuri ale capabilității, trebuie comparate cele două estimări ale abaterii standard  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  și  $\hat{\sigma}_s$ . Există o diferență importantă între estimările  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  și  $\hat{\sigma}_s$ .

Deoarece estimarea bazată pe amplitudine  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  este calculată în funcție de amplitudinea subgrupurilor, ea folosește numai variabilitatea din interiorul fiecărui subgrup pentru a estima abaterea medie a procesului. Estimarea bazată pe întreg eșantionul  $\hat{\sigma}_s$ , pe de altă parte, combină toate datele și, astfel, folosește atât variabilitatea din interiorul subgrupurilor cât și variabilitatea între subgrupuri pentru a stabili abaterea standard a procesului. Pentru a se evita confuziile generate de cerințele date în diverse standarde de calitate, trebuie avute în vedere următoarele aspecte, care este durata de timp pentru care trebuie demonstrată capabilitatea; care este metoda de eșantionare, care este volumul corect al subgrupului; cât de des trebuie colectate aceste subgrupuri; cât de multe date sunt necesare; cum trebuie raportate datele.

## ABSTRACT

The performance and capability indices compares in a compact manner the way in which one or more of a product or process characteristics (technological system) behaves relatively to engineering specifications (technical system), in other words they compare the „customer voice” (ensured by designer’s specification pull-through) with the „process voice” (as resulted from control

limits calculation). The paper presents two univariate  $C_{pk}$  and  $P_{pk}$  differently in the estimation mode of process standard deviation. In order to compare these two capability measures,  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  and  $\hat{\sigma}_s$  estimations of standard deviation must be compared. There is a major difference between  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  and  $\hat{\sigma}_s$  estimations. Because  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  estimation is amplitude based, it uses only the within subgroup variability in order to estimate the process standard deviation. On the other hand  $\hat{\sigma}_s$  estimation, which is based on the whole sample, combines all the data together and therefore uses both within and between subgroups variability in order to estimate process standard deviation. In order to avoid confusions generated by different quality standards, some aspects must be taken in account, like which is the time frame for which capability must be demonstrated, which is the sampling method, which is the subgroup correct size, how often should these subgroups must be collected, how many data are needed and how data should be reported.

**Cuvinte cheie:** indicatori de capabilitate, indicatori de performanță, procese industriale

**Key words:** capability indices, performance indices, industrial processes

## 1. INTRODUCERE

Indicii de performanță și de capabilitate compară sub o formă compactă modul în care se comportă una sau mai multe caracteristici ale unui produs sau proces (sistemul tehnologic) în raport cu specificațiile ingineresti (sistemul tehnic). Indicii de performanță și de capabilitate fac legătura între limitele specificate și limitele calculate ale caracteristicilor produsului sau procesului. Cu alte cuvinte, se compară „vocea clientului”, asigurată prin impunerea specificațiilor de către proiectant, cu „vocea procesului”, rezultată în urma calculării limitelor de control.

Informația furnizată de acești indici este importantă, deși nu suficientă, deoarece complexitatea acesteia este redusă prin prezentarea ei sub forma unui singur număr. La cererea clienților, furnizorii trebuie să înregistreze și să ofere indicii de performanță și capabilitate pentru toate caracteristicile critice ale produsului sau procesului. De asemenea, furnizorii pot utiliza acești indici pentru evaluarea produselor și proceselor, a evoluției lor în timp și pentru stabilirea de priorități în activitatea de îmbunătățire continuă.

Deși indicii de performanță și capabilitate se utilizează pe scară largă în activitățile industriale, și nu numai, există încă multă confuzie în ceea ce privește utilizarea și interpretarea lor corectă.

În ultima perioadă au avut loc dezvoltări remarcabile în domeniul indicilor de performanță și capabilitate, atât în ceea ce privește numărul acestora cât și aplicațiile software care îi utilizează. O estimare conservatoare indică existența a circa 20 de indici de capabilitate unidimensionali și a 7 indici de capabilitate multidimensionali.

În lucrare vor fi analizați doi dintre cei mai folosiți indici de performanță și capabilitate unidimensionali.

Una dintre problemele care apar în utilizarea indicilor de performanță și capabilitate este modul în care diverse programe ale calității descriu cerințele de performanță și capabilitate. De exemplu, în manualul „Quality Systems Requirements” (AIAG, 1995) se consideră că cerințele de performanță ale proceselor în desfășurare sunt definite de client. Dacă astfel de cerințe nu au fost stabilite, atunci pentru procese stabile și pentru date distribuite normal trebuie să fie atinsă o valoare  $C_{pk} \geq 1,33$ , iar pentru

procesele cronice instabile a căror „ieșire” îndeplinește specificațiile și un model predictibil trebuie să fie atinsă o valoare  $P_{pk} \geq 1,67$ . Manualul „Advanced Product Quality Planning” (AIAG, 1995) consideră că toate procesele trebuie să realizeze toate caracteristicile din specificații în cadrul producției, iar caracteristicile semnificative trebuie să fie în stare de control statistic cu  $P_{pk} \geq 1,67$  și  $C_{pk} \geq 1,33$ . În manualul „Production Part Approval Process” (AIAG, 1995), cerințele referitoare la capabilitatea procesului impun calcularea indicelui  $P_{pk}$  și acțiuni în funcție de starea procesului. Dacă procesul apare ca stabil și  $P_{pk}$  și  $P_{pk} > 1,67$ , atunci procesul îndeplinește, probabil, cerințele clientului, iar după aprobare se începe producția și se urmează Planul de Control Aprobare. Dacă procesul apare ca stabil și  $1,33 \leq P_{pk} \leq 1,67$ , atunci procesul s-ar putea să nu îndeplinească cerințele clientului. După aprobarea piesei, se începe producția cu atenție în plus la caracteristică până când se obține o valoare continuă  $C_{pk} \geq 1,33$ . Dacă procesul apare ca stabil și  $P_{pk} < 1,33$ , atunci procesul este sub standardul de a îndeplini cerințele clientului. Trebuie acordată o mare prioritate îmbunătățirii procesului care trebuie documentată într-un plan de acțiune corectivă. O inspecție sau o testare mai substanțiale sunt necesare, în mod normal, până când o valoare continuă  $C_{pk} \geq 1,33$  este demonstrată. Un plan de control revizuit pentru aceste acțiuni intermediare trebuie discutat cu clientul și aprobat de acesta. Dacă procesul apare ca instabil la momentul în care se urmărește aprobarea PPAP, atunci acesta necesită o atenție specială până când stabilitatea continuă este demonstrată și o valoare  $C_{pk} \geq 1,33$  este demonstrată.

Aceste considerații din manualele de calitate ilustrează că, de multe ori, decizii importante asupra acceptării pieselor și îndeplinirii cerințelor continue ale clientului se bazează pe valoarea indicelui de capabilitate și sugerează mai multe întrebări, ca, de exemplu:

- Cum abordează standardul diferenții indici?
- Cum trebuie colectate datele folosite în calcule?
- Ce înseamnă proces cronic instabil, dar care este predictibil?
- Care este importanța stabilității procesului?
- Sunt comparabili indicii de capabilitate pentru toate procesele?

## 2. DEFINIREA INDICILOR DE CAPABILITATE

În 1991, ASQ/AIAG (American Society for Quality/ Automotive Industry Action Group) a publicat manualul de referință „Statistical Process Control – SPC”, care prezintă modul de calcul pentru indicii de capabilitate  $C_p$  și  $C_{pk}$  și, de asemenea, pentru indicii de performanță  $P_p$  și  $P_{pk}$ .

Un indice de capabilitate face legătura între specificațiile ingineresti (determinate de client) și comportamentul procesului observat. Capabilitatea procesului este definită ca raportul dintre distanța de la centrul procesului la cea mai apropiată limită specificată și o măsură a variabilității procesului.

$$\text{Capabilitatea procesului} = \min \left( \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right),$$

unde: USL și LSL sunt limitele superioară și, respectiv, inferioară specificate;  $\mu$  și  $\sigma$  – media procesului și, respectiv, abaterea standard pentru măsurările individuale ale caracteristicii de interes. Valorile  $\mu$  și  $\sigma$  sunt estimate din datele colectate din proces. Dacă datele din proces sunt colectate în subgrupuri, atunci fie  $X_{ij}$ ,  $i = 1, \dots, m$  și  $j = 1, \dots, n$  datele colectate din proces din unitatea de ordin  $j$  în subgrupul de ordin  $i$ , unde  $m$  este numărul total de subgrupuri și  $n$  este numărul de măsurări din subgrup (eșantionul). Cei mai folosiți indici de performanță și capabilitate se definesc astfel:

$$P_{pk} = \min \left( \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_s}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_s} \right) \quad (1)$$

$$C_{pk} = \min \left( \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}} \right) \quad (2)$$

unde:  $\bar{X}$  este media generală (media mediilor) și este folosită pentru a estima media procesului  $\mu$ ;  $\hat{\sigma}_s$  și  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  – estimări diferite ale abaterii standard a procesului  $\sigma$ . Estimția  $\hat{\sigma}_s$  este dată de abaterea standard a întregului eșantion de date:

$$\hat{\sigma}_s = \sqrt{\frac{1}{nm-1} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m X_{ij} - \bar{X}}^2 \quad (3)$$

sau, dacă se ia întreg șirul de date fără a se considera subgruparea:

$$\hat{\sigma}_s = \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{q=1}^r X_q - \bar{X}}^2 \quad (4)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{r} \sum_{q=1}^r X_q \quad (5)$$

unde:  $r$  este numărul total de date din eșantion,  $r = n \cdot m$ ; și  $\bar{X}$  – media eșantionului.

Estimarea  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  este obținută folosind amplitudinile subgrupurilor  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Parametrul  $d_2$  este un factor de corecție necesar pentru a estima abaterea standard a procesului din media amplitudinilor eșantionului. Deoarece  $d_2$  este, de asemenea, folosit în determinarea limitelor de control pentru fișele de control  $\bar{X}$  și  $R$ , el este tabelat în diverse standarde de referință pentru SPC. Valori mari pentru  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$  ar trebui să corespundă unui proces capabil care produce cea mai mare parte a produselor între limitele specificate.

Așa cum se observă din relațiile (1) și (2), măsurile  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$  diferă numai prin modul de estimare a abaterii standard a procesului (de la numitor). Ca rezultat, pentru a compara cele două măsuri ale capabilității trebuie comparate cele două estimări ale abaterii standard,  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  și  $\hat{\sigma}_s$ . Există o diferență

importantă între  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  și  $\hat{\sigma}_s$ . Deoarece estimarea bazată pe amplitudine  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  este calculată bazat pe amplitudinea subgrupurilor, ea folosește numai variabilitatea din interiorul fiecărui subgrup pentru a estima abaterea medie a procesului. Estimția bazată pe întreg eșantionul  $\hat{\sigma}_s$ , pe de altă parte, combină toate datele împreună și, astfel, folosește atât variabilitatea din interiorul subgrupurilor cât și variabilitatea între subgrupuri, pentru a estima abaterea standard a procesului. La întrebarea privind estimările care asigură o mai bună măsură a variabilității procesului, pentru a fi folosită în calculele de capabilitate a procesului, se poate răspunde privind problema din punctul de vedere al clientului. Clienții sunt preocupați asupra întregii variații în ce privește „ieșirea” procesului, indiferent de sursa ei. Ca rezultat, capabilitatea procesului trebuie să se bazeze pe variația totală a procesului, adică trebuie să se folosească indicele de capabilitate  $P_{pk}$  deoarece  $C_{pk}$  subestimează serios variația totală dacă variabilitatea între subgrupuri este substanțială. Dacă, de exemplu, lipsa de stabilitate este arătată printr-un punct „afară din control” de pe fișa  $\bar{X}$ , atunci acesta este o probă a variabilității substanțiale între subgrupuri. Scopul principal al folosirii indicilor de capabilitate fiind de a raporta clientului, este bine să fie considerați indicii în termenii a ceea ce clientul dorește să cunoască. De notat că în toate cazurile de interes practic, estimția  $\hat{\sigma}_s$  este mai mare decât  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$ , deoarece  $\hat{\sigma}_s$  include în calcule și variabilitatea între subgrupuri. Astfel,  $P_{pk}$  tinde să fie mai mic decât  $C_{pk}$  și, folosind  $P_{pk}$  mai degrabă decât  $C_{pk}$ , aceasta face ca procesul să pară „mai rău”. Din acest motiv, furnizorii pot fi rezervați în a folosi  $P_{pk}$  mai degrabă decât  $C_{pk}$ . Oricum, este benefic pentru ambele părți să se obțină o privire realistă asupra capabilității procesului de a fabrica produse între limitele specificate.

Pentru a ilustra în plus diferențele și similaritățile între  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$ , se va examina cazul unei piese la care caracteristica de calitate este diametrul și care are specificația  $20 \pm 0,25$  mm. S-au prelevat două eșantioane de 100 de piese grupate în

## EVALUAREA PERFORMANȚEI ȘI CAPABILITĂȚII PROCESELOR INDUSTRIALE

25 de subgrupuri a câte 4 piese. Datele obținute prin măsurare sunt prezentate în tabelele 1 și 2, iar analiza capabilității celor două eșantioane este dată în figurile 1 și 2.

*Tabelul 1. Eșantionul 1 cu datele statistice primare*

Subgrup	1 [mm]	2 [mm]	3 [mm]	4 [mm]	$\bar{X}_i$ [mm]	$R_i$ [mm]
1	19,9000	19,9400	20,0000	20,0000	19,9600	0,10
2	19,8600	19,9600	19,9400	20,0400	19,9500	0,18
3	19,9800	20,1200	19,9800	20,0800	20,0400	0,14
4	19,9600	19,9400	19,9400	19,9800	19,9550	0,04
5	20,1200	20,0600	20,0200	20,0200	20,0550	0,10
6	20,0000	20,0000	19,9400	19,9200	19,9650	0,08
7	20,0200	19,9400	20,0800	19,9400	19,9950	0,14
8	20,0000	20,0600	20,0400	20,0800	20,0450	0,08
9	20,0200	20,0400	20,0600	20,0800	20,0500	0,06
10	19,9200	20,0000	19,9600	20,0200	19,9750	0,10
11	20,0400	20,0200	20,0200	20,0600	20,0350	0,04
12	19,9200	20,0400	19,8600	20,0600	19,9700	0,20
13	19,9000	20,0200	19,9000	20,0400	19,9650	0,14
14	19,9200	20,0200	19,9600	20,0400	19,9850	0,12
15	20,0600	20,1600	20,1000	20,1800	20,1250	0,12
16	20,0200	20,0200	20,0000	20,0200	20,0150	0,02
17	20,1200	20,0600	20,0000	20,0200	20,0500	0,12
18	20,0200	20,0200	20,0000	19,9200	19,9900	0,10
19	19,9400	19,9600	20,0200	20,0000	19,9800	0,08
20	19,9800	20,0400	20,0000	20,0400	20,0150	0,06
21	20,0200	20,0400	20,0200	20,0600	20,0350	0,04
22	20,0000	20,0400	20,0200	20,0400	20,0250	0,04
23	19,9800	20,0400	19,9800	20,0400	20,0100	0,06
24	19,9000	20,0400	19,8800	20,0400	19,9650	0,16
25	20,0600	20,0800	19,9600	20,0200	20,0300	0,12
					$\bar{\bar{X}} = 20,0114$	$\bar{\bar{R}} = 0,1607$

*Tabelul 2. Eșantionul 2 cu datele statistice primare*

Subgrup	1 [mm]	2 [mm]	3 [mm]	4 [mm]	$\bar{X}_i$ [mm]	$R_i$ [mm]
1	20,0000	20,0000	19,9400	19,9200	19,9650	0,08
2	20,0200	20,0400	20,0600	20,0800	20,0500	0,06
3	20,0400	20,0200	20,0200	20,0600	20,0350	0,04
4	19,9000	20,0200	19,9000	20,0400	19,9650	0,05
5	20,0000	20,0600	20,0400	20,0800	20,0450	0,08
6	20,0200	20,0200	20,0200	20,0000	20,0150	0,02
7	19,9400	19,9600	20,0200	20,0000	19,9800	0,08
8	19,9625	20,0025	20,0625	20,0625	20,0225	0,10
9	19,9000	20,0400	19,8800	20,0400	19,9650	0,16
10	19,9350	20,0350	19,9750	20,0550	20,0000	0,12
11	20,0200	20,0200	20,0000	19,9200	19,9900	0,10
12	20,0100	19,9900	19,9900	20,0300	20,0050	0,04
13	20,1200	20,0600	20,0000	20,0200	20,0500	0,12
14	20,0200	20,0400	20,0200	20,0600	20,0350	0,04
15	20,0600	20,0800	19,9600	20,0200	20,0300	0,10
16	19,9225	20,0225	20,0025	20,1025	20,0125	0,18
17	19,9800	20,0400	20,0000	20,0400	20,0150	0,06
18	19,9800	20,0400	19,9800	20,0400	20,0100	0,06
19	20,0000	20,0400	20,0200	20,0400	20,0250	0,04
20	20,1200	20,0600	20,0200	20,0200	20,0550	0,10
21	19,9800	20,1200	19,9800	20,0800	20,0400	0,14
22	19,9200	20,0400	19,8600	20,0600	19,9700	0,20
23	19,9200	20,0200	19,9600	20,0400	19,9850	0,12
24	19,9200	20,0000	19,9600	20,0200	19,9750	0,10
25	20,0700	19,9900	20,1300	19,9900	20,0450	0,14
					$\bar{\bar{X}} = 20,0114$	$\bar{\bar{R}} = 0,1607$

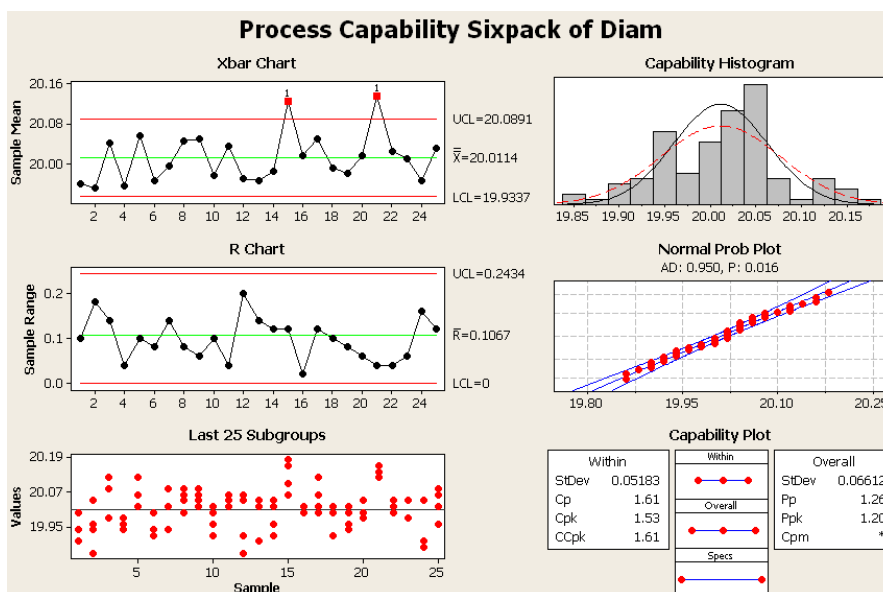


Fig. 1. Analiza capabilității eşantionului 1.

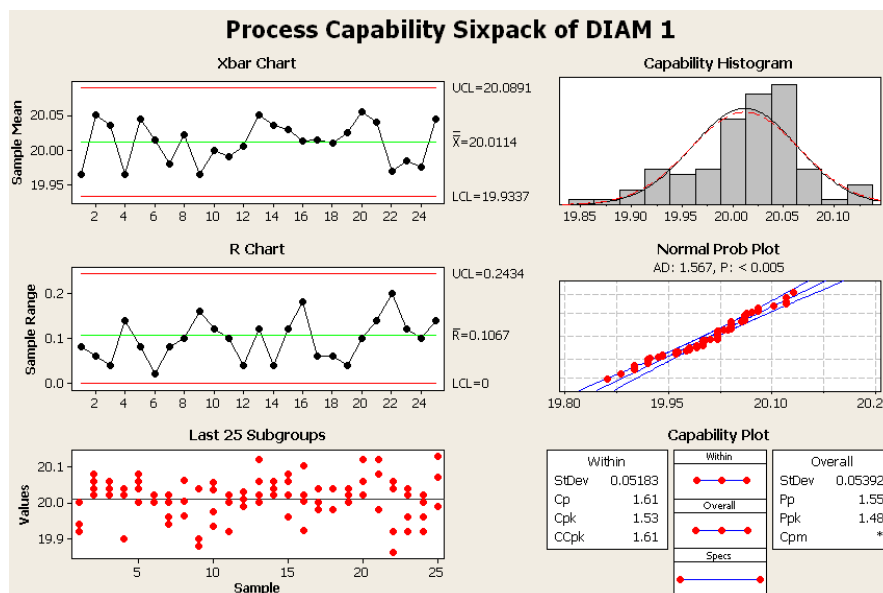


Fig. 2. Analiza capabilității eşantionului 2.

Analizând cele două eşantioane, se observă că ambele şiruri de date sunt distribuite normal. Pentru primul eşantion există două puncte în afara limitelor de control (corespunzător subgrupurilor 15 şi 21),  $\bar{x} = 20,0114$  mm,  $\bar{R} = 0,1067$ ,  $C_{pk} = 1,53$ ,  $P_{pk} = 1,20$ . Pentru al doilea eşantion se observă că procesul este între limite de control,  $\bar{x} = 20,0114$  mm,  $\bar{R} = 0,1067$ ,  $C_{pk} = 1,53$ ,  $P_{pk} = 1,48$ .

Se observă că estimarea bazată pe amplitudinea subgrupurilor  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  (0,05183 pentru ambele eşantioane), nu este afectată de schimbările observațiilor individuale atât timp cât amplitudinile subgrupurilor nu se schimbă.

De asemenea, se observă că media mediilor (globală) este neschimbată iar indicele de capabilitate  $C_{pk}$  calculat

conform relației (2) va fi neschimbat, însă se observă că, acum,  $\hat{\sigma}_s$  (0,0532 pentru eşantionul 2 față de 0,06612 pentru eşantionul 1) este mai mic și deci  $P_{pk}$  este mai mare,  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$  fiind mai apropiați deoarece variabilitatea între subgrupuri s-a redus.

Variația mică între subgrupuri este arătată, de asemenea, de fișa  $\bar{X}$ , care arată situația de „în control”. În general, pentru procesele stabile,  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$  sunt mai apropiați (similari ca valoare), însă, chiar pentru procese stabile,  $P_{pk}$  este o măsură mai bună a capabilității deoarece valoarea mică a variabilității între subgrupuri contribuie, totuși, la variabilitatea totală a ieșirii procesului.

Estimările abaterii standard  $\hat{\sigma}_s$  și  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  diferă într-un alt mod important chiar dacă mai puțin fundamental, iar

abordarea bazată pe amplitudinea subgrupurilor oferă estimări care nu sunt atât de eficiente ca metoda bazată pe estimarea abaterii standard a eșantionului, chiar dacă variația între subgrupuri este 0.

De exemplu, într-un studiu de capabilitate care folosește 100 de observații împărțite în 25 de subgrupuri, metoda bazată pe metoda amplitudinilor are o eficiență de numai aproximativ 86 %, în comparație cu metoda bazată pe metoda evaluării datelor individuale.

Această pierdere de eficiență rezultă, în principal, prin pierderea de grade de libertate și, atunci când se utilizează metoda amplitudinilor, se renunță la informații asupra procesului. Metoda mai puțin eficientă a amplitudinilor este mai populară deoarece este folosită la fișele de control și calculele pot fi ușor realizate manual.

### 3. PROBLEME LEGATE DE STABILITATEA PROCESULUI

Un proces este considerat stabil (în control) dacă toate punctele  $\bar{X}$  și  $R$  din fișele de control se află în interiorul limitelor de control și nu există trenduri specifice. Stabilitatea unui proces este deosebit de importantă deoarece un proces stabil în prezent este probabil să rămână stabil și pe viitor dacă nu apar schimbări majore în evoluția sa. Astfel, „ieșirea” totală a unui proces stabil este, într-o oarecare măsură, previzibilă. Dacă „ieșirea” unui proces este stabilă atunci și capabilitatea procesului este previzibilă pe baza performanței anterioare. Pe de altă parte, dacă „ieșirea” procesului nu este stabilă, este totuși posibil ca, în timp, indicele de capabilitate să fie stabil. De exemplu, un proces în care o sculă se uzează nu este stabil, dar dacă scula uzată este înlocuită cu mult înainte de a fi produse piese neconforme, procesul nu va produce piese în afara specificațiilor și va putea fi considerat capabil. Deși nu sunt specificate clar în standardele prezentate anterior, procesele cronic instabile, însă care sunt predictibile, se referă probabil la procese ce presupun uzura sculelor și a căror „ieșire” se modifică în mod sistematic.

Pe de altă parte, Nelson explică în [4] faptul că o fișă de control va arăta instabilitatea unui proces numai dacă depășește un anumit prag și, de aceea, estimarea  $\hat{\sigma}_s$  va lua în considerare corect variații de la un subgrup la altul pe care fișele de control nu le pot pune în evidență. Deoarece estimarea  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$  nu îndeplinește această condiție, Nelson (1999) concluzionează că nu ar trebui folosită la calcularea indicilor de capabilitate (desigur, estimarea variației în interiorul subgrupurilor ca  $\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2} = \bar{R}/d_2$  este în continuare recomandabilă pentru calcularea limitelor de control).

Atunci când se examinează consecințele utilizării indicilor de capabilitate  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$ , rezultă următoarele:

– dacă procesul este stabil (în control),  $C_{pk}$  este aproximativ egal cu  $P_{pk}$  deoarece un proces stabil are o

variabilitate mică între subgrupuri și, deci, nu are prea mare importanță ce măsură este utilizată (este, totuși, preferabil  $P_{pk}$  pentru motivele prezentate anterior).

– dacă procesul nu este stabil (nu este în control), atunci  $C_{pk}$  supraestimează capabilitatea procesului și  $C_{pk}$  nu este egal cu  $P_{pk}$  deoarece nu include variabilitatea între subgrupuri și, deci, este preferabil  $P_{pk}$ . Rodriguez (2002) consideră, pe de altă parte, că nici una dintre estimări nu este validă pentru abaterea medie pătratică deoarece noțiunea de „distribuție a procesului” nu are sens.

– dacă procesul este cronic instabil, însă predictibil,  $C_{pk}$  supraestimează capabilitatea procesului și  $C_{pk}$  nu este egal cu  $P_{pk}$  deoarece nu include variabilitatea între subgrupuri și, deci, este preferabil  $P_{pk}$ .

### 4. CONCLUZII

• Pentru a se evita confuziile generate de cerințele date în diverse standarde de calitate trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

– Care este durata de timp pentru care trebuie demonstrată capabilitatea?

– Care este metoda de eșantionare?

– Care este volumul corect al subgrupului?

– Cât de des trebuie colectate aceste subgrupuri?

– Cât de multe date sunt necesare?

– Cum trebuie raportate datele?

• Alegerea între  $C_{pk}$  și  $P_{pk}$  trebuie făcută cu mare atenție și trebuie să țină cont de condițiile concrete ale procesului care este urmărit.

• Se recomandă folosirea termenilor de indice de performanță pentru  $P_{pk}$  și indice de capabilitate pentru  $C_{pk}$  (indiferent de modul de calcul) pentru a nu crea confuzii privind procesele care sunt urmărite.

### BIBLIOGRAFIE

1. **Kotz, S.** (1993). *Process Capability Indices*. Chapman and Hall, New-York, USA.
2. **Kotz, S., Johnson, N.L.** (2002) Process Capability Indices A Review, 1992-2000. *Journal of Quality Technology*, Vol.34, no. 1.
3. **Montgomery, D.C.** (1991). *Introduction to Statistical Quality Control*. Second Edition, John Wiley and Sons, New-York.
4. **Nelson, L.S.** (1999). The Calculation of Process Capability Indices – *Journal Of Quality Technology*, Vol. 31, pp. 249-250.
5. **Rodriguez, R.N.** (2002). Discussion. *Journal of Quality Technology*, Vol.34, No.1, pp. 28-31.
6. **Steiner, S., Abraham, B., MacKay, J.**, *Understanding Process Capability Indices* –, [www.stats.uwaterloo.ca/~shsteine/papers/](http://www.stats.uwaterloo.ca/~shsteine/papers/)
7. \*\*\* AIAG – Advanced Product Quality Planning and Control Plan Reference Manual –, Southfield, MI, USA, 1995
8. \*\*\* AIAG – Production Part Approval Process Reference Manual –, Southfield, MI, USA, 1995
9. \*\*\* AIAG – Quality System Requirements Reference Manual –, Southfield, MI, USA, 1995
10. \*\*\* AIAG – Statistical Process Control Reference Manual –, Southfield, MI, USA, 1995