

Statistisk Prosesstyring

Å forstå og kunne reagere på variasjon

Innhold

Innhold	i
Forord	ii
1. Prosesser og variasjon	1
2. Hva er statistisk prosesstyring?	3
3. Hva er et kontrolldiagram?	4
4. Hva brukes kontrolldiagrammer til ?	5
5. Hvem bruker kontrolldiagrammer?	7
6. Hvordan lages kontrolldiagrammer ?	8
7. Hvilke typer kontrolldiagrammer fins ?	10
8. Kontrolldiagram for variable: grupper av observasjoner ...	11
9. Kontrolldiagram for attributter	16
10. Hva er kapabilitet?	22
11. Statistisk Prosesstyring satt i system	27
12. Mer om tolkning av kontrolldiagrammer	31
13. Rasjonell organisering og gruppering av data	34
14. Terminologi	37
15. Statistisk prosesstyring og kvalitetsledelse	38
16. Oppsummering	41
17. Programvare	42
18. Formler	46
19. Litteratur	48

Forord

Denne innføring i statistisk prosesstyring (SPC) er forankret i Shewharts opprinnelige ideer fra 1920-årene, slik de er videreført av Deming. Denne tilnærming har vært rådende i japansk industri siden 1950-tallet, mens den først på 1990-tallet ble satt i system i amerikansk industri. Vi finner det i bilindustriens QS9000, i flyindustrien (Boeings AQS) og i elektronisk industri (SEMATECH). Det er også nedfelt i ISO-standarder ISO 8258.

Vær oppmerksom på at det i praksis forekommer andre syn, og også direkte misforståelser om hva kontrolldiagrammer kan/bør brukes til. Vær spesielt på vakt mot bruk der kontrollinjer/styregrenser ikke gir uttrykk for prosessvariasjon, men toleranser/spesifikasjoner. Dette kan lett lede til feil reaksjon på variasjon og styring på tvers av prosessens egen kapabilitet

Kompendiet er skrevet ut fra behovet for materiale for opplæring i statistiske metoder som oppfyller kravene til kvalitetspersonell iht. PRS ordningen administrert i Norge av Norsk Forening for Kvalitet og Lederskap, jfr. The EOQ-Personal Registration Scheme: Rules and Handbook. 13. Statistical Methods. Kompendiet inneholder nok materiale til å dekke 13.2 Process Control.

Jeg takker Øystein Evandt, Egil Håvaldsrud, Harald Skiri og Hans Westerby for verdifulle kommentarer.

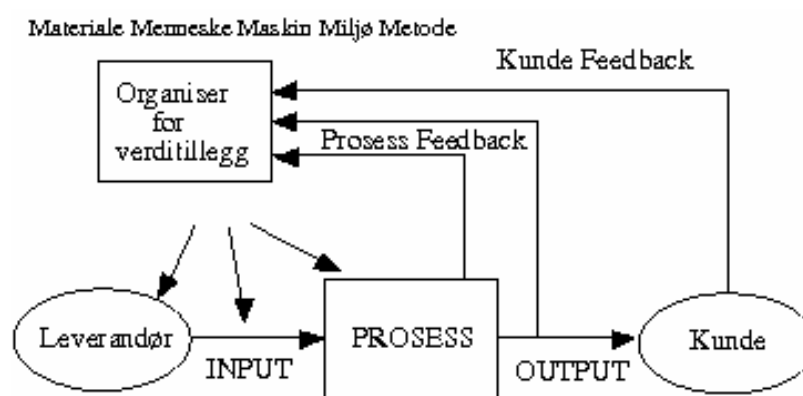
Bergen, 14 januar 2000

Jostein Lillestøl, Norges Handelshøyskole

Fagstyret for statistiske metoder,
Norsk Forening for Kvalitet og Lederskap

1. Prosesser og variasjon

En bedrift kan forstås som en samling prosesser, som hver for seg og sammen skal virke for å oppnå bedriftens målsetting. Hver prosess består av aktiviteter som forutsetter innsatsfaktorer (input), som transformeres (gir verditillegg) og gir et resultat (output). God ledelse er å organisere for verditillegg i alle bedriftens prosesser. Vi illustrerer dette i Figur 1



Figur 1 Å organisere for verditillegg

Av betydning for prosessers virkemåte nevner vi spesielt (de 5 M'er))

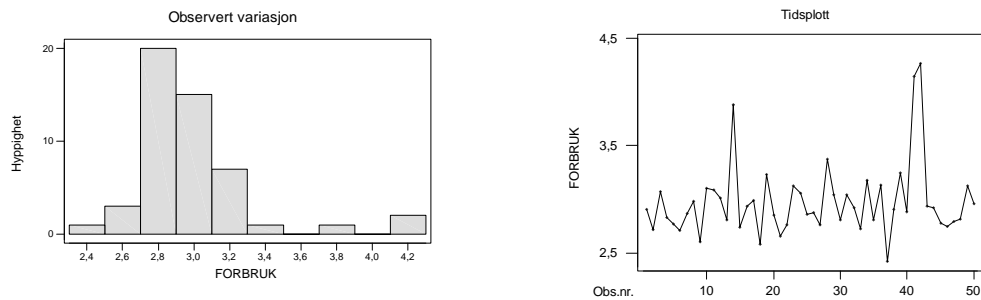
- Menneske
- Maskin (utstyr)
- Materialer
- Metode
- Miljø (omgivelser)

Prosesser kan være av ulike slag:

- produksjon
- administrasjon
- informasjonsutveksling

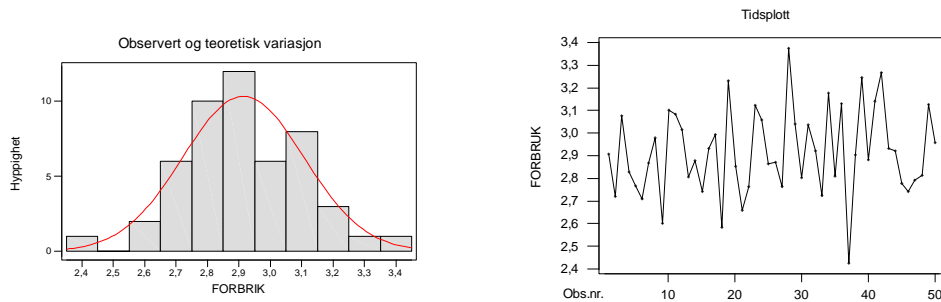
eller kombinasjoner av disse elementene. Alle prosesser preges av variasjon, mer enn de fleste tror. Dette medfører at det også er variasjon i output fra prosessene, det være seg i et produkt eller i en tjeneste. Variasjon kan være av ulikt slag: Noe er tilsynelatende iboende i prosessen, og bør ikke komme som noen overraskelse, mens noe opptrer sporadisk, uventet og uønsket. Det fins ulike måter å reagere på variasjon, og det er nødvendig å ha en grunnleggende forståelse av variasjon for å kunne velge en reaksjonsmåte som gir verditillegg, og ikke det motsatte.

Vi kan illustrere variasjon med histogrammer og tidsplott. I Figur 2 a og b ser vi variasjonen i materialforbruk i kg for 50 etterfølgende produserte like store batcher. Histogrammet i Figur 2a viser at et typisk forbruk er fra 2.4 til 3.4 kg, men at det sporadisk forekommer langt større forbruk. Histogrammet skjuler viktig informasjon, nemlig rekkefølgen av batchene. Tidsplottet i Figur 2b viser ett uvanlig høyt forbruk ved observasjon nr.14 og to etterfølgende høye ved nr.42 og 43. Dette kan være nøkkelen til å finne årsaken til det store forbruket.



Figur 2 Variasjon i materialforbruk illustrert ved histogram (a) og tidsplott (b)

Anta at årsakene til de sporadisk store materialforbrukene ble funnet og fjernet. I Figur 3a og b er histogram og tidsplott for nye 50 observasjoner. Histogrammet i Figur 3a viser en mer stabil produksjon enn ovenfor. I dette tilfellet har vi tillatt oss å tegne inn en glatt kurve, som er tenkt å representere den fordeling av verdier vi regner med å ha dersom intet nytt uforutsett skjer. Kurven er altså et teoretisk uttrykk for en iboende prosessvariasjon. Tidsplottet i Figur 3b har sine topper og bunner, men spørsmålet er: Har toppene en årsak det er verd å jakte etter, eller er det simpelthen bare tilfeldig variasjon?



Figur 3 Variasjon i materialforbruk illustrert ved histogram (a) og tidsplott (b)

Man kan lære mye om prosessers virkemåte ved å plote nøkkelkarakteristika for prosessene over tid. Slike kan være for resultat (output) eller prosessindikatorer forut for resultatet, herunder innsatsfaktorer (input). Formålet er å avgjøre om prosessen er "under kontroll", eller den plages av avvik eller variasjon av spesielle årsaker. Slike bør studeres med sikte på strakstiltak eller langsiktige tiltak for forebygging og/eller forbedring av selve prosessen.

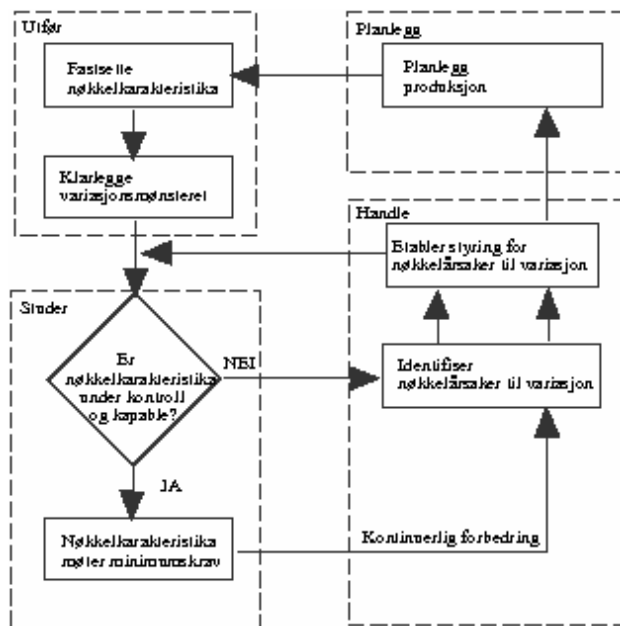
2. Hva er statistisk prosesstyring?

I de senere år er statistisk prosesstyring kommet sterkt i fokus i forbindelse med kvalitetssikring. Mange (spesielt i USA) har gjenoppldaget dette slagkraftige verktøyet, som har vært brukt systematisk i Japan gjennom hele deres økonomiske gjenoppbygging etter den andre verdenskrigen. Mange kunder stiller i dag krav til at leverandører skal dokumentere at de holder nøkkelkarakteristika for sine produkter under statistisk kontroll og oppfyller krav til kapabilitet.

Til dette brukes **kontrolldiagrammer**, som både er et verktøy for å håndtere variasjon internt, og for ekstern dokumentasjon av kapabilitet (variasjon innenfor satte toleranser) og vilje til kontinuerlig forbedring.

Merk at enkelte foretrekker betegnelsen styringsdiagrammer istedenfor kontrolldiagrammer. Noen kaller det kontrollkort etter det engelske "control chart", se diskusjon av terminologi i eget avsnitt.

Det er ventet at norske bedrifter i stigende grad vil møte slike krav i fremtiden, og bedrifter som satser internasjonalt bør i hvert fall ha statistisk prosesstyring som integrert del av sitt kvalitetssystem. En slik oppgave er illustrert i grove trekk i Figur 4 og blir diskutert mer inngående i et senere avsnitt.



Figur 4 Statistisk prosesstyring satt i system

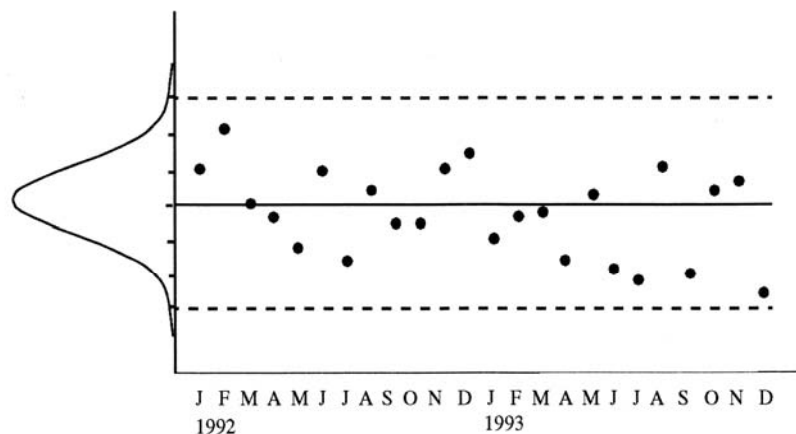
Statistisk prosesstyring satt i system på denne måten reduserer kostnader og skaper tillit hos kunder. Kostnader reduseres ved at kostbar inspeksjon og vrak unngås.

3. Hva er et kontrolldiagram?

Et kontrolldiagram er kjennetegnet ved følgende (se Figur 5):

- Registeringer av nøkkelkarakteristika plottet i tidsrekkefølge i et diagram (tidsplott), med
- statistisk beregnede øvre og nedre "kontrollinjer" inntegnet i diagrammet på hver side av en senterlinje, som skal gi uttrykk for den naturlige prosessvariasjonen (når denne er stabil).
- Observasjoner utenfor kontrollinjene eller spesielle mønstre signaliserer spesiell variasjon eller ustabilitet.

Figur 5 viser et kontrolldiagram for en tilsynelatende **stabil** prosess. Det er mest vanlig å binde sammen etterfølgende punkter med linjer (gjør det!).



Figur 5 Kontrolldiagram med kontrollinjer

Variasjonen har karakter av tilfeldig variasjon, som er del "av systemet". Den skyldes typisk mange små årsaker (vanlige/felles årsaker). Vi sier at prosessen er "**i statistisk kontroll**". På venstresiden av diagrammet er tegnet en normalfordeling som indikerer en mulig teoretisk fordeling av verdier rundt senterlinjen. I praksis legges som regel senterlinjen ved gjennomsnittet av observasjonene og kontrollinjene ved 3 ganger beregnet standardavvik til hver side av senterlinjen.

Merk at kontrollinjene *ikke* er basert på våre ønsker mht. prosessen, heller *ikke* spesifikasjoner iht. en standard, men på hva prosessen er i stand til å yte under rådende stabile driftsforhold.

Kontrolldiagrammer kan benyttes for nesten alle slags data observert over tid. Den enkleste form for kontrolldiagram er for enkeltobservasjoner. Disse brukes i situasjoner der observasjoner for variable kommer en av gangen, og gjerne ikke altfor ofte. Det kan dreie seg om øyeblikksbilder (f.eks. temperatur), målte verdier (f.eks. tykkelse) for etterfølgende produserte enheter (evt. stikkprøver), akkumulerte tall fra etterfølgende perioder (f.eks. materialforbruk). Slike diagrammer er like aktuelle i økonomisk/administrative prosesser (f.eks. aksjekurser, kostnader og salg).

4. Hva brukes kontrolldiagrammer til ?

Kontrolldiagrammer hjelper oss å skille mellom ulike typer variasjon, som kan kreve ulike typer tiltak, som fortsatt virksomhet kan være kritisk avhengig av.

Kontrolldiagrammer kan i praksis brukes til

- prosessanalyse
- prosessstyring (-kontroll)
- prosessforbedring

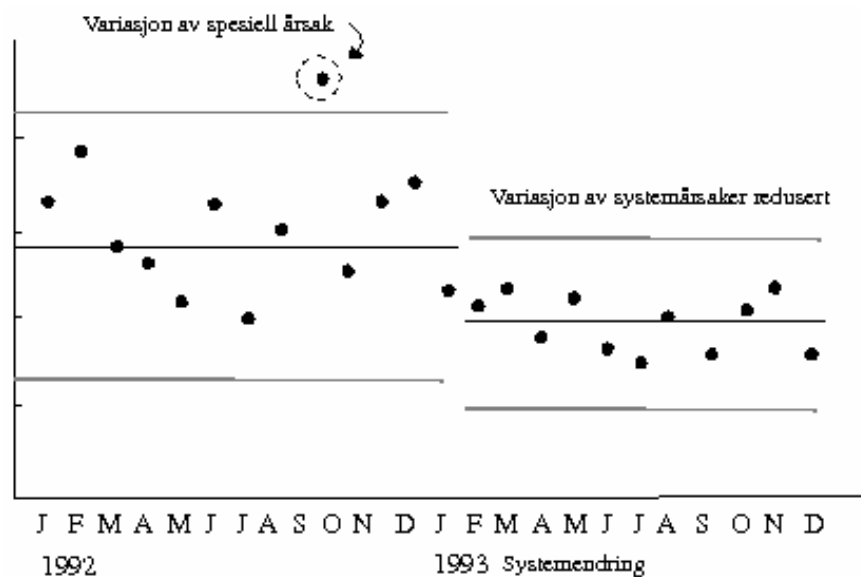
Prosessanalyse vil si å forstå variasjonen i en prosess som observeres. Prosessstyring vil si å overvåke prosessen videre, og justere den når det er hensiktsmessig. Prosessforbedring vil være å arbeide for reduksjon av prosessens variasjon, som ofte innebærer endring av prosessen.

Et kontrolldiagram forteller

- hva prosessen gjorde (fortid)
- hva prosessen kan gjøre (fremtid)

Bestemmelse av kontrollinjene forutsetter at prosessen i utgangspunktet er i kontroll. Dersom en eller flere avvikende observasjoner eller spesielle mønstre opptrer i diagrammet, tyder det på at prosessen ikke er i kontroll. En bør da lete etter de spesielle årsaker, til dette og fjerne disse. Deretter fastlegges kontrollinjer, og en har et kontrolldiagram som kan være utgangspunkt for prosessstyring og prosessforbedring.

I Figur 6 dreier det seg om månedlige kostnader for gitt aktivitetsnivå, der kontrollinjene er bestemt ut fra data før 1992 (som var i kontroll). Vi ser at punktet for september 1992 faller utenfor den øvre kontrollinjen, noe som tyder på variasjon av en spesiell årsak. I 1992 ble det foretatt en endring av systemet, som medførte at både nivå og variasjon ble redusert. Vi har da i realiteten en ny prosess.



Figur 6 Kontrolldiagram før og etter systemendring

Kontrolldiagrammer kan veilede mht. riktig reaksjonsmåte ved avvik. Punkter utenfor kontrollinjene og spesielle mønstre innenfor, indikerer avvik av spesielle årsaker som ikke er del av systemet. Årsakene kan finnes og reageres på der og da, av den (de) som er direkte involvert, som et element i den rutinemessige kvalitetsstyring.

At alle observasjoner faller innenfor kontrollinjene uten spesielle mønstre garanterer ikke at all variasjon av spesielle årsaker er eliminert. Poenget er at de er umulig å skille fra naturlig variasjon (av vanlige årsaker) med mindre variabiliteten reduseres, dvs. prosessen endres på en mer fundamental måte.

I praksis er det mange som, etter å ha observert avvik fra en ønsket (nominell) verdi, er tilbøyelige til å justere prosessen, uten å vite om den er i statistisk kontroll eller ikke. Justering av en sentrert prosess i statistisk kontroll vil bare medføre at prosessvariasjonen øker. Dette kalles **overstyring**, og skjer ofte i praksis uten at en er klar over det. Manglende kunnskap om ulike typer variasjon og riktig reaksjonsmåte kan derfor medføre det motsatte av kvalitetsforbedring.

Kontrolldiagrammet kan hjelpe oss til å unngå å tolke ethvert avvik som om det har en spesiell årsak, og forstå at forbedringer av en prosess som er i kontroll krever systemendringer, som ofte er utenfor den enkelte operatørs mulighet og mandat, men som heller er en lederoppgave.

5. Hvem bruker kontrolldiagrammer?

Kontrolldiagrammer kan brukes i

- serieproduksjon
- ordreproduksjon
- tjenesteyting

Siden kontrolldiagram er knyttet til gjentatt observasjon er det en utbredt oppfatning at de kun er tjenlige ved serieproduksjon. Det er feil! Også i ordreproduksjon har vi prosesser som bidrar til resultatet som det er ønskelig er "i kontroll" til enhver tid, f.eks. presisjon av maskinerings-utstyr som anvendes i mange sammenhenger. Det er grunn til å hevde det motsatte, at kontrolldiagrammer er spesielt viktig i ordreproduksjon, hvor det ofte selges et lite antall enheter. På grunn av de store konsekvenser en eventuell feil kan få, er det nødvendig å få et tidlig varsel om at "noe er ute av kontroll", slik at diskusjoner om årsak kan komme i gang, og eventuelt fjernes før det blir synlig i produktet, noe som kan kreve merarbeid, omarbeiding og i verste fall vrak.

Når det gjelder tjenester er også behovet for et tidlig varsel sterkt tilstede. En "tjenestefeil" er ikke alltid lett synlig i resultatet, og heller ikke direkte målbar. For hver kunde som finner det bryet verdt å klage, er det kanskje mange som tier stille, klager til venner og (hvis mulig) bytter leverandør av tjenesten. Kundetilfredshetsundersøkelser har sine begrensninger, ting er vanskelig å kvantifisere og tolke, og kan gi mindre gode prediktorer for fremtidig kundeadferd.

Det kan derfor godt hende at systemet er ute av kontroll, noe som blir klart for ledelsen først etter at regnskapene viser "røde tall". I stedet for å lese resultatet i ettertid, er det langt bedre å samle og analysere prosessavvik i sanntidsdata. Uheldigvis er de fleste ledere bedre trent i å analysere regnskapsdata, som bare er dårlige erstatninger for de operasjonelle data. Selv om hver tjeneste har "engangskaraktter", er det mange av de bakenforliggende aktiviteter som gjentas, f.eks. handlinger knyttet til en bestilling.

Hvem skal så bruke kontrolldiagrammer? Er det folkene i første linje i produksjon, salg osv., eller er det deres nærmeste foresatte? Svaret er: Alle! Men ansvaret for å starte bruken bør ligge hos toppledelsen.

I organisasjoner der prosesskontroll med kontrolldiagrammer inngår rutinemessig, vil typisk en topplerer overvåke mer enn 10 kontrollpunkter, mens en som arbeider "på gulvet" vil typisk overvåke 1-3 kontrollpunkter.

6. Hvordan lages kontrolldiagrammer ?

IX-diagram

Vi vil her gå gjennom hvordan et kontrolldiagram for enkeltobservasjoner lages. Dette kalles gjerne et **IX-diagram** (IX="Individual X"), og kombineres ofte med et såkalt MR-diagram for kontroll av variasjon (MR="Moving Range"). Merk at IX-diagram av noen isteden kalles X-diagram eller I-diagram.

Som eksempel tar vi en bedrift som kjører produksjonsserier på 1000 enheter. Ved slutten av hver serie produseres en ekstra for (destruktiv) testing. En nøkkelkarakteristikk måles, f.eks. den belastning i kilo som enheten tåler før den går i stykker. Resultatet etter 50 produksjonsserier ble (med en desimal):

2.9	2.7	3.1	2.8	2.8	2.7	2.9	3.0	2.6	3.1
3.1	3.0	2.8	2.9	2.7	2.9	3.0	2.6	3.2	2.9
2.7	2.8	3.1	3.1	2.9	2.9	2.8	3.4	3.0	2.8
3.0	2.9	2.7	3.2	2.8	3.1	2.4	2.9	3.2	2.9
3.1	3.3	2.9	2.9	2.8	2.7	2.8	2.8	3.1	3.0

En starter med å plote observasjonene i rekkefølge langs en horisontal akse (tidsplott), og vurderer om prosessen ser ut til å være i kontroll.

Fastleggingen av kontrollinjene skjer i to trinn slik:

1. Beregning av ventet prosessnivå, anslått ved gjennomsnittet av observasjonene \bar{X} .
2. Beregning av ventet variasjon omkring nivået, som avsettes på hver side av gjennomsnittet.

De plottede observasjoner med inntegnede kontrollinjer gir anledning til å revurdere om prosessen er i kontroll. Femti observasjoner gir et godt grunnlag for å vurdere om prosessen er i kontroll og etablere kontrollinjer. Mange mener at 20 observasjoner er et absolutt minimum, mens andre tillater mindre "for å komme i gang".

Beregningen av ventet variasjon kan skje ved to ulike metoder, **standardavviksmetoden** eller **variasjonsbreddemetoden**. Metodene gir kontrollinjer som følger:

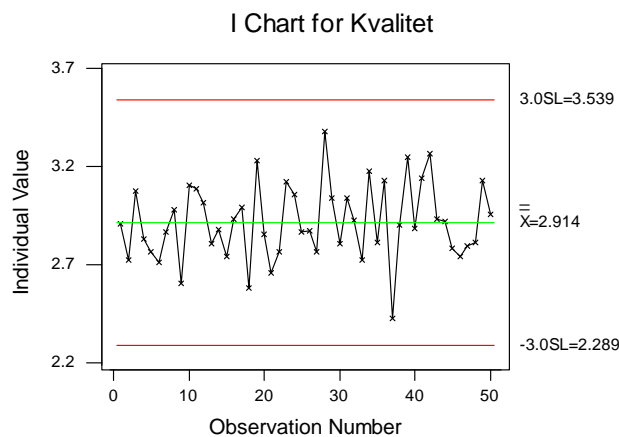
Standardavviksmetoden $\bar{X} \pm 3 \times S$

Variasjonsbreddemetoden $\bar{X} \pm 2.66 \times \overline{MR}$

Her er S standardavviket til observasjonene, mens \overline{MR} er gjennomsnittet til forskjellene (i tallverdi) mellom alle naboobservasjonene (MR="Moving Range"). Formler er gitt i et appendiks. Av ulike grunner er variasjonsbreddemetoden mer populær enn standardavviksmetoden.

Merknad. Begge metoder er knyttet til idéen om at enkeltobservasjoner med stor sannsynlighet ligger innenfor tre ganger standardavviket fra sitt forventningsnivå, men benytter ulike metoder for å anslå dette standardavviket. For normalfordelte observasjoner er denne sannsynligheten 99.7 %, men metodene er ikke kritisk avhengig av om observasjonene i utgangspunktet er normalfordelte.

Gjennomsnittet av de 50 observasjonene blir $\bar{X} = 2.914$, mens standardavviket beregnes til $S = 0.193$ og $\overline{MR} = 0.235$. I Figur 7 er et IX-diagram for de målte kvalitetene med kontrollinjer basert på R-metoden, slik det typisk fremkommer med en engelskspråklig programpakke (der 3.0SL betyr "3-Sigma-limits")



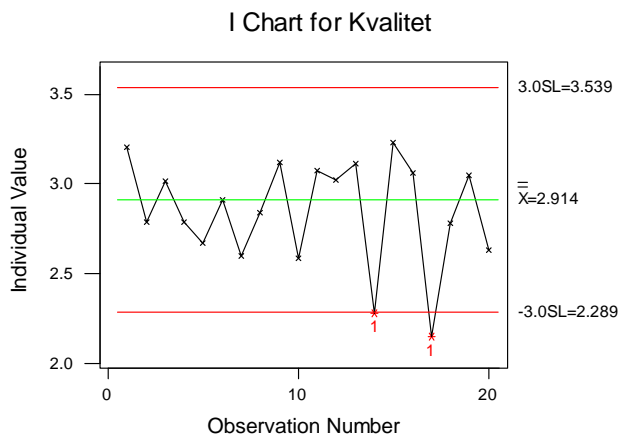
Figur 7 IX diagram

Vi ser at observasjonene alle er innenfor kontrollinjene, og ser ut til å variere tilfeldig uten spesielle mønstre, slik at prosessen med god grunn kan antas å være "i kontroll". I det etablerte kontrolldiagrammet kan en fortsette å plote enkeltobservasjoner, med sikte på å holde øye med om prosessen forblir stabil i kontroll. Diagrammet vil være i stand til å avsløre avvikende enkeltobservasjoner, spesielle mønstre, nivåendringer, økt variasjon og trender.

La oss som eksempel ta for oss 20 nye observasjoner:

3.2	2.8	3.1	2.8	2.7	2.9	2.6	2.8	3.1	2.6
3.1	3.0	3.1	2.2	3.2	3.1	2.1	2.8	3.0	2.6

Disse er plottet i Figur 8, med de samme kontrollinjene som i Figur 7.



Figur 8 IX-diagram med forutberegnete kontrollinjer

Vi ser at to punkter (nr.14 og nr.17) faller utenfor nedre kontrollinje, og varsler avvik av spesiell årsak. Om dette skyldes økt variasjon generelt eller to enkeltstående "villskudd" er vanskelig å si.

IX-diagrammet blir gjerne supplert med et MR-diagram. I dette diagrammet plottes forskjellene mellom naboobservasjonene direkte. En nivålinje legges på gjennomsnittet \overline{MR} og en øvre kontrollinje legges på $3.267 \cdot \overline{MR}$, mens det ikke er noen nedre kontrollinje. I dette diagrammet ser en kan hende påfallende endringer som ikke er like synlige i IX-diagrammet.

Kontrolldiagrammer kan lages for hånd, gjerne på ferdiglagde ark med et standardisert utseende. Selv om PC-programvare er tilgjengelig for formålet, vil slik bruk ofte skape unødige problemer for enkelte.

7. Hvilke typer kontrolldiagrammer fins ?

Vi har to hovedtyper kontrolldiagrammer:

- for målevariable
- for attributter

Typiske situasjoner der målevariable brukes som prosessindikator er:

- fysiske størrelser (lengde, volum, vekt, temperatur osv.) i produksjon
- ressursforbruk (materialer, strøm osv.) i produksjon og service
- produktivitetsmål i produksjon og administrasjon
- økonomiske mål i salg og administrasjon

For målevariable fins diagrammer for nivåkontroll og variasjonskontroll:

- a. \bar{X} -diagram for enkeltobservasjoner
- b. MR -diagram for enkeltobservasjoner
- c. \bar{X} -diagram for gruppegjennomsnitt
- d. R -diagram for variasjonsbredde i gruppe
- e. S -diagram for standardavvik i gruppe
- f. Kombinasjonsdiagrammer: $\bar{X} - R$ diagram og $\bar{X} - S$ diagram

Attributter kan typisk studeres i forbindelse med

- defekter og feiltyper for artikler i produksjon
- gjentak, reparasjon og reklamasjon i produksjon/service
- avvik og merarbeid i administrative rutiner

Antall avvik e.l. registreres, og hvis det er mer tjenlig, beregnes andelen avvik pr. skift/parti/enhet e.l. alt etter formålet. Kontrolldiagrammer for attributter har størst betydning i forbindelse med kvalitetsvedlikehold, der en ønsker å føre kontroll med om produksjon eller tjenester oppfyller gitte standarder. De har imidlertid begrenset evne til å avdekke årsaker til avvik. For å oppnå kvalitets-forbedring, dvs. reduksjon i avvik må en heller gjøre bruk av prosessorienterte indikatorer, og typisk bruke kontrolldiagram for variable. Dersom avviksandelen er brakt lavt ned, vil kontrolldiagrammer for attributter kreve et så stort antall observasjoner pr. punkt i diagrammene, at det ikke lenger er et praktisk verktøy i den daglige drift. Som verktøy i forbedringsprosesser er derfor kontrolldiagrammer for attributter mest aktuelle på et tidlig stadium i arbeidet med å redusere avvik.

For attributter er følgende 4 typer av diagrammer mest vanlige:

- a. p -diagram for andeler
- b. np -diagram for antall
- c. c -diagram for antall forekomster
- d. u -diagram for antall forekomster pr. enhet

Vi skal nedenfor gi en kort diskusjon av noen ulike typer diagrammer, men for ytterligere detaljer om konstruksjon og bruk vises til spesiallitteratur.

8. Kontrolldiagram for variable: grupper av observasjoner

Et \bar{X} -diagram er aktuelt ved prosesskontroll med en målbar prosessindikator, der observasjonene enten kommer i grupper, eller kommer så ofte at det ikke er hensiktsmessig å holde oppsikt med enkeltobservasjonene. Gruppene bør være definert slik at det letter arbeidet med å finne årsaker til spesielle avvik, f.eks. som dag, parti, skift. Vi vil anta at det er like mange observasjoner n i hver gruppe, det typiske antall er 5. Observasjonene i hver

gruppe vil ofte bare være en stikkprøve fra prosessen, f.eks. alle fra samme skift, mens neste gruppe er fra neste skift.

For å etablere kontrolldiagrammet bør det foreligge minst 100 observasjoner i alt. Med 5 observasjoner i hver gruppe betyr dette minst 20 grupper. Vi starter med å beregne gjennomsnittet \bar{X} av observasjonene i hver gruppe.

Gruppegjennomsnittene plottes fortløpende i et diagram, som gir en grov sjekk på om prosessen er i kontroll. Gjennomsnittene kan imidlertid skjule variasjon fra gruppe til gruppe, og det er derfor aktuelt å supplere gjennomsnittsplottet med et parallelt plott av et egnet mål for gruppevariasjonen, f.eks. variasjonsbredden (differensen mellom største og minste observasjon) eller standardavviket i hver gruppe, se beregninger nedenfor og formler i eget avsnitt.

Kontrollinjene beregnes ved først å beregne prosessnivået som gjennomsnittet av alle gruppegjennomsnittene \bar{X} , som så lenge antall observasjoner i hver gruppe er det samme, blir det samme som gjennomsnittet av alle observasjonene. Deretter avsettes et mål for prosessvariasjonen til begge sider av prosessnivået. I praksis brukes en av disse to metodene:

Variasjonsbreddemetoden $\bar{X} \pm A_2 \bar{R}$

Standardavviksmetoden $\bar{X} \pm A_3 \bar{S}$

Her er \bar{R} og \bar{S} henholdsvis gjennomsnittene av variasjonsbreddene og standardavvikene som først er beregnet for hver gruppe. A_2 og A_3 er faktorer som er fastlagt slik at sjansen for at et enkelt gjennomsnitt faller innenfor kontrollinjene er meget stor så lenge prosessen er i kontroll. Faktorene avhenger av antall observasjoner n i hver gruppe, og er gitt i følgende tabell:

n	A_2	A_3	D_3	D_4
2	1.880	2.659	0	3.267
3	1.023	1.954	0	2.575
4	0.729	1.628	0	2.282
5	0.577	1.427	0	2.115
6	0.483	1.287	0	2.004
7	0.419	1.182	0.076	1.924
8	0.373	1.099	0.136	1.864
9	0.337	1.032	0.184	1.816
10	0.308	0.975	0.223	1.777

Merknad. Begge disse metodene tar utgangspunkt i at hvert gruppe-gjennomsnitt med stor sannsynlighet (ved normalfordeling ca. 99.7 %) faller innenfor $\mu \pm 3 \times \sigma / \sqrt{n}$ så lenge prosessen er i kontroll. Forskjellen mellom metodene er to ulike måter å anslå σ på. Selv om tabellverdiene er beregnet på grunnlag av antakelsen om normalfordelte observasjoner, er dette av mindre betydning for

praktisk bruk, bl.a. fordi \bar{X} i gjenntatte stikkprøver vil være tilnærmet normalfordelt, selv om ikke enkelt-observasjonene er det.

Når det gjelder valg mellom variasjonsbreddemetoden og standardavviksmetoden har mange foretrukket den første fordi beregningene gjøres lettere for hånd. Med dagens fortrolighet med kalkulatorer er dette ikke lenger avgjørende. Det er imidlertid også andre grunner til å foretrekke variasjonsbreddemetoden fremfor standardavviksmetoden, såfremt gruppestørrelsen er moderat. Når gruppestørrelsen er 10 eller mer er standardavviksmetoden mer effektiv.

Istedenfor gjennomsnittet \bar{X} i hver gruppe er det beregningsmessig enda enklere å bruke medianen \tilde{X} , dvs. den midterste av observasjonene når disse er ordnet i stigende rekkefølge. Prosessnivået og kontrollinjer bestemmes på tilsvarende måte som ovenfor, men ved en annen tabellfaktor. Et \tilde{X} -diagram har større avstand mellom kontrollinjene enn det tilsvarende \bar{X} -diagrammet, noe som kan være en ulempe for rask avsløring av prosesser ute av kontroll.

La oss som eksempel ta en situasjon der vi har observasjoner i grupper på $n=5$. Vi antar at dette er et tilfeldig utvalg fra produksjonen i en gitt periode (dag, parti eller skift). Anta at vi har data fra i alt 50 etterfølgende perioder (les tabellen linjevis).

3.41	3.21	3.11	2.13	2.67	3.03	2.52	2.76	2.81	2.48
2.80	3.21	3.42	2.90	3.04	2.70	3.05	2.61	2.95	2.83
2.33	2.68	3.12	2.85	2.85	3.41	2.63	2.53	2.53	2.44
2.62	2.61	3.07	2.95	3.09	3.59	3.17	2.86	2.63	2.65
2.83	2.05	2.57	2.51	3.04	3.44	2.93	3.19	3.04	2.91
3.35	3.18	3.26	2.95	2.68	3.27	2.62	3.13	3.11	2.94
2.72	3.02	2.75	2.65	2.90	2.41	2.85	2.54	3.36	3.22
2.57	2.75	2.88	2.69	2.81	2.75	2.97	2.67	3.31	2.96
3.12	2.86	3.29	2.85	2.84	2.15	2.66	2.51	2.84	2.75
3.01	2.83	3.20	3.52	3.60	3.14	3.16	2.59	2.89	2.48
2.40	2.54	2.93	2.86	2.56	2.86	2.66	2.88	2.63	2.79
3.56	3.31	2.99	2.52	3.24	3.45	2.54	2.61	3.19	3.51
2.64	2.68	2.76	3.34	2.90	2.82	2.58	3.01	3.18	2.77
2.92	2.23	2.72	2.99	2.95	3.19	3.51	3.69	3.16	3.33
2.85	3.44	3.13	2.96	2.81	2.94	2.81	2.51	2.37	3.39
3.17	2.87	2.98	2.91	3.26	3.32	2.57	2.65	2.84	3.24
2.47	2.69	2.58	2.90	2.97	3.36	3.03	3.30	3.16	3.04
2.91	2.72	2.97	2.86	2.59	2.84	2.78	3.16	3.38	3.48
2.50	2.04	2.63	2.29	2.66	2.67	3.12	2.96	2.57	3.19
3.20	3.49	2.94	3.03	3.58	3.36	2.66	2.59	2.72	3.07
3.49	3.31	3.30	3.00	2.62	3.06	3.05	3.09	3.27	3.86
2.85	3.32	3.19	2.62	2.69	2.39	3.25	3.12	3.10	2.74
2.94	2.72	2.78	3.04	2.42	2.69	2.39	2.69	2.51	3.44
2.79	1.98	2.74	3.19	3.26	3.54	2.48	2.74	2.72	2.59
3.39	3.14	2.65	2.78	3.68	3.04	2.32	3.10	3.42	2.90

De nødvendige beregninger kan skjer for hånd evt. ved bruk av ferdig oppsatte skjemaer eller ved programvare. La oss illustrere beregningen av det første plottepunktet (se formler i eget avsnitt):

X_i	X_i^2	
X_1	3.41	11.6281
X_2	3.21	10.3041
X_3	3.11	9.6721
X_4	2.13	4.5369
X_5	2.67	7.1289
sum	14.53	43.2701

$$\bar{X} = 2.906 = 14.53 / 5$$

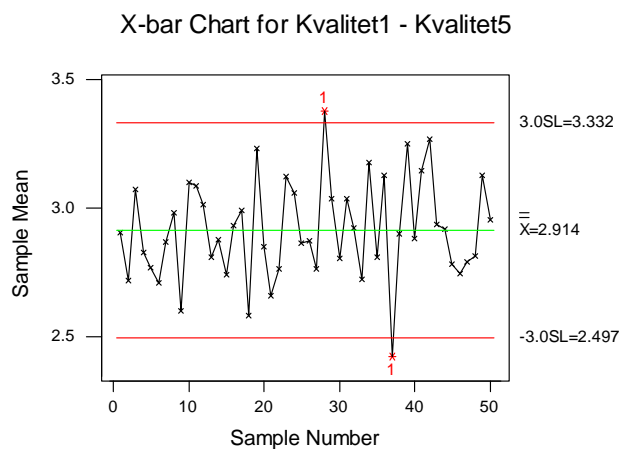
$$R = 1.280 = 3.41 - 2.13$$

$$S^2 = 0.261 = (43.2701 - 5 \cdot 2.906^2) / 4$$

$$S = 0.511 = \sqrt{0.261}$$

Dette kan gjøres for alle plottepunktene, og gjennomsnittene av de respektive \bar{X} , R og S beregnes. Her blir $\bar{X} = 2.9144$, $\bar{R} = 0.718$ og $\bar{S} = 0.2926$.

I Figur 9 er et \bar{X} -diagram for disse dataene, der øvre kontrollinjene er beregnet etter R-metoden, slik at $\bar{X} \pm A_2 \bar{R} = 2.914 + 0.577 \cdot 0.718 = 3.332$.



Figur 9 \bar{X} -diagram med beregnede kontrollinjer

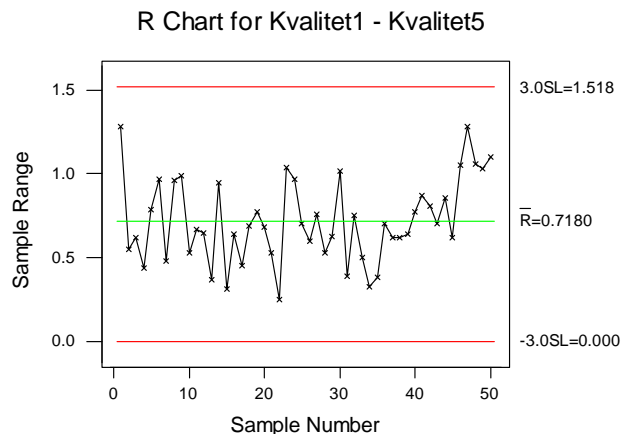
Vi ser at to punkter faller utenfor kontrollinjene. I gruppe nr. 28 faller punktet over øvre kontrollinje, som indikerer et uvanlig godt resultat, som muligens kan skyldes en spesiell årsak som er verd å undersøke nærmere. I gruppe nr. 37 faller punktet under nedre kontrollinje, som indikerer et uvanlig dårlig resultat, som muligens kan skyldes en spesiell årsak som også er verd å undersøke nærmere.

For å avdekke økt variasjon kan en bruke et såkalt **R-diagram**. En plotter da variasjonsbredden, fortløpende for hver gruppe. For R-diagramet er senterlinjen gitt ved \bar{R} og kontrollinjene gitt ved:

$$\text{Nedre linje} = D_3 \cdot \bar{R}, \quad \text{Øvre linje} = D_4 \cdot \bar{R}$$

der D_3 og D_4 er gitt i samme tabell som A_2 og A_3 . Merk at for $n \leq 6$ er nedre kontrollinje alltid null.

Et R-diagram for de samme dataene som ovenfor med $n=5$ observasjoner i hver gruppe er gitt i Figur 10, der øvre kontrollinje er gitt ved $2.115 \cdot 0.718 = 1.518$. Vi ser at variasjonen innen hver gruppe holder seg innenfor kontrollinjene, og det er derfor grunn til å tro at produksjonsresultatet har en stabil variasjon fra periode til periode. De to avvikende observasjonene i \bar{X} -diagrammet skyldes en lokal nivåendring, en "episode".



Figur 10 R-diagram med beregnede kontrollinjer

En bør alltid se \bar{X} -diagrammet og R-diagrammet i sammenheng. Det kan godt tenkes at \bar{X} -diagrammet ser i orden ut, mens R-diagrammet er ute av kontroll. Forutsetningen for beregning av kontrollinjer i \bar{X} -diagrammet er da ikke oppfylt.

9. Kontrolldiagram for attributter

Vi har i hovedsak 4 typer kontrolldiagrammer for attributter, der det som plottes er henholdsvis:

p = andelen enheter med et gitt attributt (f.eks. feil)
i etterfølgende grupper (gruppestørrelsen kan variere).

np = antall enheter i gruppe med et gitt attributt (f.eks. feil)
i etterfølgende grupper av konstant størrelse n .

c = antall forekomster av "noe" (f.eks. feil)
hos etterfølgende enheter av samme slag.

u = antall forekomster av "noe" (f.eks. feil) pr. enhet
hos etterfølgende (grupper av) enheter (størrelse kan varirere).

De to siste typene diagrammer er også aktuelle i situasjoner der det dreier seg om andre eksponeringsmuligheter enn fysiske enheter, f.eks. arealer.

For å etablere kontrollinjer trenger en i hver av de 4 situasjonene først beregne et prosessnivå ut fra alle observasjoner som foreligger til nå, samt avsette et mål for prosessvariasjonen til hver side.

La oss definere

\bar{p} = andelen enheter med attributtet blant alle gruppene

\bar{c} =gjennomsnittlig antall forekomster over alle enheter.

\bar{u} =gjennomsnittlig antall forekomster pr. enhet over alle enheter.

Vi har følgende beregningsformler for nivå og kontrollinjer i de 4 situasjonene:¹

Diagram	Nivå	Kontrollinjer
p	\bar{p}	$\bar{p} \pm 3 \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3 \sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$
c	\bar{c}	$\bar{c} \pm 3 \sqrt{\bar{c}}$
u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3 \sqrt{\bar{u}/n}$

¹ De to første situasjonene bygger på binomisk modell, mens de to siste bygger på den såkalte Poissonmodellen.

p-diagram

Et p-diagram er aktuelt i situasjoner der en er interessert i andelen enheter med et gitt attributt over tid, f.eks.

- andelen feil/vrak i partier
- andelen feil i gjentak av arbeidsoperasjon
- andel registreringsfeil
- andel klager/retur
- andel kontakter som følges opp

La oss studere et konkret eksempel:

Et firma produserer takstein, og før lastingen på paller plukkes ut stein som er skadet. Skader kan oppstå i selve produksjonsprosessen og i håndteringen etterpå. Man er lite tilfreds med situasjonen og har derfor samlet inn data for 100 tilfeldig valgte stein hver arbeidsdag i en måned (20 arbeidsdager). Resultatet ble:

<u>Dag</u>	<u>Antall</u>	<u>Antall</u>	<u>Andel</u>
	<u>vurderte</u>	<u>vrakede</u>	<u>vrakede</u>
1	100	8	0.08
2	100	6	0.06
3	100	3	0.03
4	100	9	0.09
5	100	3	0.03
6	100	15	0.15
7	100	7	0.07
8	100	7	0.07
9	100	5	0.05
10	100	6	0.06
11	100	14	0.14
12	100	4	0.04
13	100	8	0.08
14	100	3	0.03
15	100	5	0.05
16	100	6	0.06
17	100	9	0.09
18	100	4	0.03
19	100	2	0.02
<u>20</u>	<u>100</u>	<u>6</u>	<u>0.06</u>
Sum	2000	130	

Vi lager et p-diagram med tilhørende kontrollinjer.

Senterlinjen i diagrammet beregnes ved andelen vrakede i hele

observasjonsperioden. Fordi det er undersøkt like mange hver dag, er dette det samme som gjennomsnittet av andelen vrakede for de 20 dagene. Vi får

$$\bar{p} = \frac{130}{2000} = 0.065$$

Kontrollinjene finner vi som:

$$0.065 \pm 3\sqrt{\frac{0.065 \cdot (1 - 0.065)}{100}}$$

som gir

$$\text{Øvre kontrollinje} = 0.139$$

$$\text{Nedre kontrollinje} = -0.009$$

En negativ verdi på andeler gir ingen mening, slik at vi i praksis lar null være nedre kontrollinje.

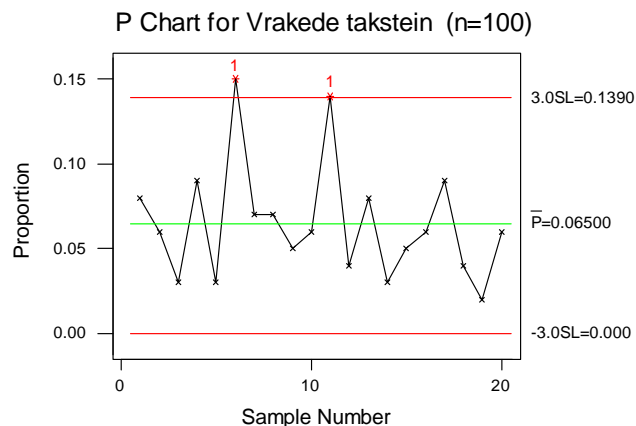


Figure 11 P-diagram med beregnede kontrollinjer

For en prosess i kontroll er sjansen svært liten for at andelen vrakede en enkelt dag skal ligge over kontrollinjen. Her ser vi at andelen for dag 6 og dag 11 er utenfor den øvre linjen, noe som indikerer mulig avvik av spesiell årsak. Forøvrig er det ingen spesielle mønstre i kontrolldiagrammet som indikerer ytterligere ustabilitet i datamaterialet.

Dag 6 og dag 11 fortjener nærmere granskning med sikte på å avdekke eventuell årsaker til det store antall vrakede. Det viste seg at at dette var mandager da en av de erfarne truckkjørere var fraværende, og at en uerfaren erstatter var brukt. Bedriften fjernet så årsaken til det spesielle problemet ved å gi mulige erstattere opplæring, og man har tro på at andelen vrakede i ettertid

vil oppføre seg stabilt. Man tar derfor sjansen på å etablere nye kontrollinjer der de to spesielle observasjonene er fjernet. Vi får

$$\bar{p} = \frac{101}{1800} = 0.056$$

Kontrollinjene finner vi som:

$$0.056 \pm 3\sqrt{\frac{0.056 \cdot (1 - 0.056)}{100}}$$

som gir

Øvre kontrollinje = 0.125

Nedre kontrollinje = 0.000 (bruk null)

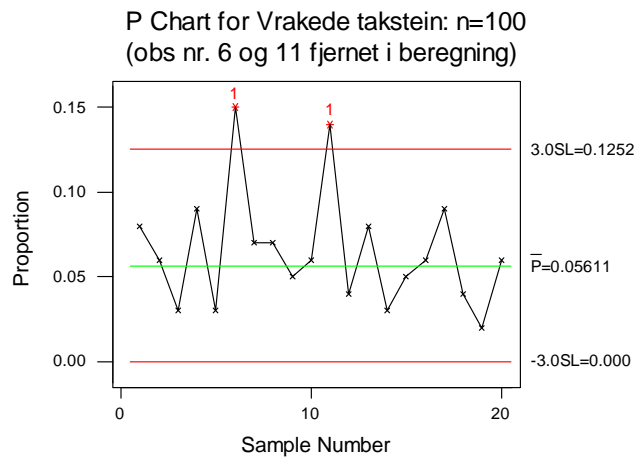


Figure 12 P-diagram med omberegnete linjer

Vi ser at alle de øvrige 18 dager nå faller godt innen disse nye kontrollinjene. Med dette som utgangspunkt vil nå bedriften gå i gang med å studere systemendringer som kan redusere det generelle nivå av vrakede takstein. Dette kan være

- dårlige råvarer
- produksjonssvakheter
- håndteringsrutiner (felles for alle)
- håndteringsredskaper (truck osv.)

Det er mulig at en slik fornyet beregning av kontrollinjer avdekker nye punkter utenfor de nye kontrollinjene. En kan da undersøke de spesielle omstendigheter ved disse, med sikte på at disse også fjernes, og enda nye kontrollinjer beregnes. Dette kan imidlertid drives for langt, idet det etterhvert tynnes ut med punkter. Det er også mulighet for at de tiltak som er truffet med

sikte på å fjerne spesielle årsaker også har en viss innflytelse på systemet som helhet. En må derfor vurdere om situasjonen krever innsamling av helt nye data. Det fins ingen klar tommelfingerregel her.

Et annet viktig spørsmål er valget av stikkprøvestørrelse. Et p-diagram krever typisk langt større stikkprøver enn kontrolldiagrammer for variable (\bar{X} -diagram). I kvalitetsarbeid er vanligvis sjansen for spesielle (f.eks. defekte) enheter liten, og med et lite antall observasjoner er det betydelig sjanse for at stikkprøven er uten spesielle. Da har p-diagrammet liten praktisk nytte.² Eksempelvis, dersom sjansen for spesiell enhet er 5 %, vil forventet antall spesielle i en stikkprøve på 20 være 1, med betydelig sjanse for 0. Som en tommelfingerregel brukes ofte at stikkprøvene bør være så store at forventet antall spesielle i hver prøve er minst 2 (noen sier minst 5). For tilfellet at sjansen for hver forekomst av spesiell er ca. 5 %, krever dette stikkprøver på minst 40. For tilfellet at sjansen for hver forekomst av spesiell er ca. 1 %, krever dette stikkprøver på minst 200.

Når det gjelder antall stikkprøver for å etablere kontrollinjer i et p-diagram, tilsier teoretiske betraktninger at det bør observeres minst 30. I eksemplet har vi av plasshensyn begrenset oss til 20.

Det ideelle er at alle stikkprøver er like store. Dette er ofte ikke tilfelle, og det er ikke naturlig å kaste vekk informasjon for å gjøre dem like store, dvs. som den minste stikkprøven. Et eksempel på en slik situasjon er undersøkelse gjort på etterfølgende dager ved en bompengestasjon om bilistene betaler eksakt beløp eller trenger vekslings. Antall bilister som passerer hver dag varierer.

Siden stikkprøvestørrelsen er bestemmende for avstanden mellom kontrollinjene, vil varierende stikkprøvestørrelse egentlig kreve varierende linjebredde. Dette er mulig, men ofte upraktisk. I stedet lages felles kontrollinjer ut fra en gjennomsnittlig stikkprøvestørrelse. Dette er aktuelt bare hvis stikkprøvene ikke er altfor ulike i omfang, og som tommelfingerregel er nevnt høyst 20% forskjell fra gjennomsnittlig stikkprøvestørrelse.

Med et np-diagram oppnår en i hovedsak det samme som p-diagram. Betegnelsen np-diagram er noe misvisende idet det her ikke dreier seg om å plote andeler, men antall (som riktignok er n ganger andelen). For brukerne som er lite vant med bruk av kontrolldiagrammer er det nok enklere å forholde seg til antall enn andeler, men merk at np-diagrammet krever konstant gruppestørrelse n.

² Grunnene til dette er flere, bl.a. fordi situasjonen er så "skjev" at de garantier som er knyttet til kontrollinjene er illusoriske, og at det med få mulige verdier er vanskelig å studere spesielle mønstre.

c-diagram

Et c-diagram er aktuelt i situasjoner der en er interessert i antall forekomster av et attributt i et "medium", som typisk kan være tid, lengde, areal eller volum, f.eks.

- antall klager per uke
- antall svake punkter i en kabellengde
- antall svake punkter i et papirareal
- antall bakterier i en volumenhet

Et fellestrekk ved disse eksemplene er at det ikke er noen naturlig øvre grense for antall forekomster. La oss ta et konkret eksempel.

En papirfabrikk tar etter hver produksjonsdag opptelling av antall svake punkter i papiret i en utvalgt rull (av gitt lengde). Resultatet for 30 dager ble:

	Antall		Antall
Dag	feil	Dag	feil
1	13	16	6
2	8	17	18
3	12	18	14
4	11	19	10
5	8	20	8
6	11	21	8
7	12	22	9
8	10	23	8
9	16	24	11
10	14	25	15
11	13	26	7
12	10	27	13
13	10	28	16
14	11	29	11
15	8	30	12
sum =		333	

Gjennomsnittlig antall feil pr. undersøkt rull blir $333/30=11.1$, og dette kan brukes forsøksvis som nivålinje i kontrolldiagrammet.

Kontrollinjene er derfor bestemt ved (se tidligere tabell med formler)

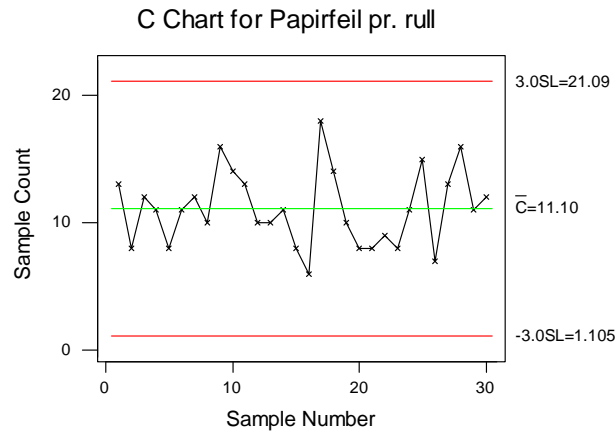
$$11.1 \pm 3\sqrt{11.1} \text{ dvs. } 11.1 \pm 10.0$$

$$\text{Nedre kontrollinje} = 1.1$$

$$\text{Øvre kontrollinje} = 21.1$$

I Figur 13 er inntegnet punktene og kontrollinjene. Vi ser at alle punktene ligger innenfor kontrollinjene, og at de ikke har spesielle mønstre.

Dersom antall forekomster er mindre enn 9, ser vi at nedre kontrollinje blir negativ, som ikke gir god mening, og null brukes da som nedre kontrollinje.



Figur 13 C-diagram med kontrollinjer

Den måten vi beregner kontrollinje på for c-diagrammet er egentlig en forenkling, som bl.a. innebærer at fordelingen av verdier rundt gjennomsnittet i grove trekk er symmetrisk. I praksis er denne fordelingen ofte skjev, og mer skjev jo mindre gjennomsnittet er. Det blir ofte anbefalt å bruke metoden bare når gjennomsnittlig antall forekomster er større enn 20. For gjennomsnittlig antall forekomster mindre enn 20 er det laget tabeller for kontrollinjene som tar omsyn til skjevheten. Mange mener at dette er en unødvendig korreksjon.

10. Hva er kapabilitet?

Kapabilitet dreier seg om prosessers evne til å tilfredsstille gitte toleransekrav.

Kunder kan stille krav til kapabilitet for utvalgte nøkkelkarakteristikker ved produkt/komponent/prosess. Vi vil anta at dette skjer ved å oppgi toleransegrenser for den målte karakteristikk. Merk at dette er noe helt annet enn kontrollgrenser, som jo var grensene for prosessens naturlige variasjon. Kort sagt:

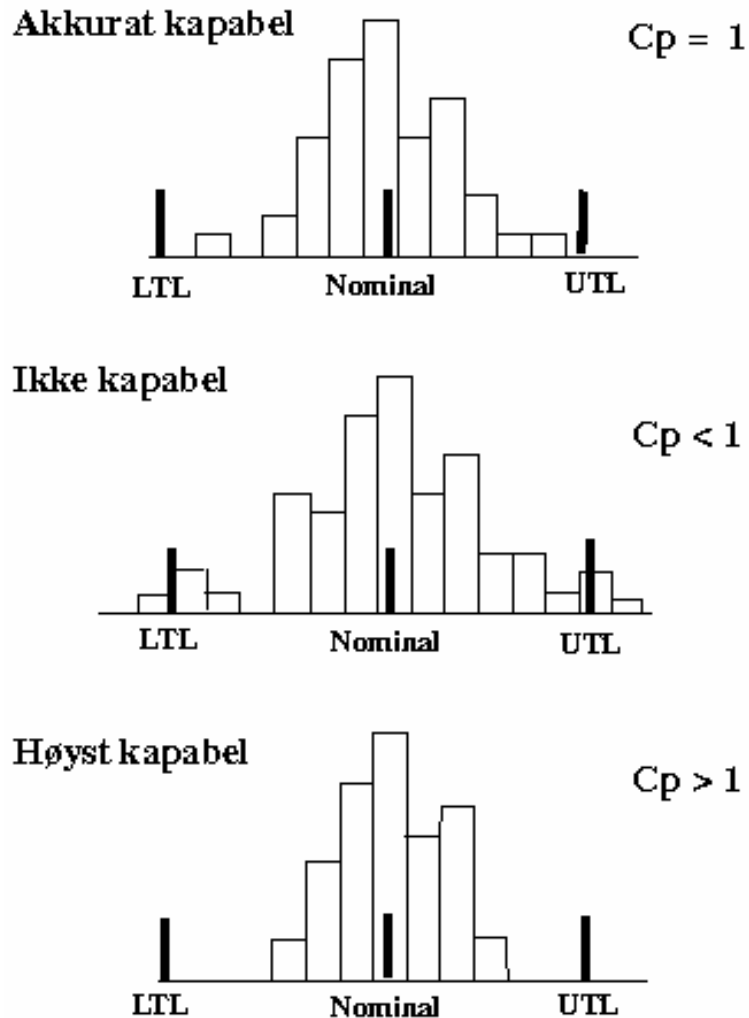
Toleransegrenser = "Kundens stemme"

Kontrollgrenser = "Prosessens stemme"

En kapabilitetsstudie tar sikte på å forene kundens og prosessens stemme. En vil typisk forutsette at produksjonsprosessen er under statistisk kontroll. Vi sier da at prosessen er

Kapabel = Variasjon innenfor toleransene
Ikke kapabel = Variasjon utover toleransene

La oss illustrere dette med histogrammer for tre observerte prosesser med ulike variasjon, men som alle ser ut til å være sentrerte (Figur 14)



Figur 14 Kapabilitet sentrerte prosesser

I praksis benyttes ofte ulike typer kapabilitetsindekser for å tallfeste prosessers evne til å oppfylle kundekrav.

La oss anta gitt toleransegrenser/spesifikasjonsgrenser ved

LTL = Nedre toleransegrense ("Lower Tolerance Limit")

UTL = Øvre toleransegrense ("Upper Tolerance Limit")

og at nominell verdi (NOM) er midt i dette toleranseintervallet. Lengden av dette intervallet $UTL - LTL$ kaller vi **toleransebredden**, eller **-vidden**.

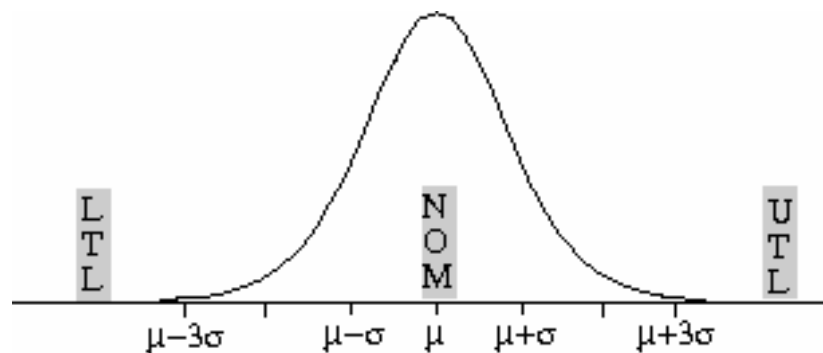
La oss i første omgang anta at prosessen er sentrert, dvs. at den varierer omkring μ , som sammenfaller med nominell verdi (NOM), og at den varierer mellom en nedre kontrollgrense (LCL) og en øvre kontrollgrense (UCL). Disse grensene blir typisk fastlagt ut fra $\pm 3\sigma$ betraktninger, slik at variasjonsbredden er

$$UCL - LCL = 6\sigma$$

Den såkalte C_p -indeksen er da gitt ved

$$C_p = \frac{\text{Toleransebredde}}{\text{Variasjonsbredde}} = \frac{UTL - LTL}{6\sigma}$$

C_p kalles også **prosesspotensialet**. Vi illustrerer de innførte begrepene for det sentrete tilfellet i Figur 15



Figur 15 Prosessvariasjon vs. toleranser (sentrert prosess)

For usentrerte prosesser har vi C_{pk} -indeksen, der toleransebredden isteden blir bestemt ved avstanden fra middelveien til prosessen μ til nærmeste toleransegrense.

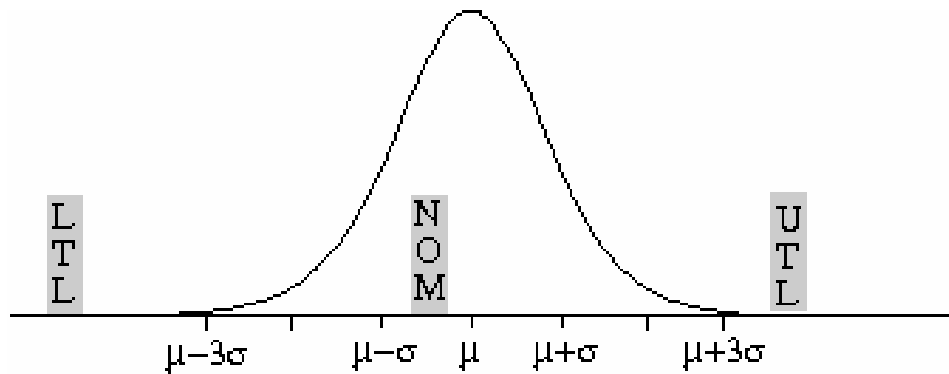
$$C_{pk} = \frac{\text{Toleransebredde}}{\text{Variasjonsbredde}} = \frac{\min(UTL - \mu, \mu - LTL)}{3\sigma}$$

Denne kan alternativt skrives

$$C_{pk} = C_p - \frac{|\text{NOM} - \mu|}{3\sigma}$$

slik at vi får et fradrag i C_p som øker ettersom prosessen blir mer usentrert.

Vi illustrerer situasjonen i det usentrerte tilfellet i Figur16:



Figur 16 Prosessvariasjon vs. toleranser (usentrert prosess)

Et mulig krav til kapabilitet er $Cpk > 1$, men det er et svakt krav at akkurat kapabel er tilstrekkelig. Mer vanlig er å kreve $Cpk > 1.3$.

Dokumentasjon av kapabilitet er ofte basert på et mindre antall observasjoner av prosessen. Da er beregnet Cpk et usikkert estimat for den sanne langsiktige kapabilitet, og det må derfor legges inn en usikkerhetsmargin.

Eksempelvis for å garantere $Cpk > 1$ med 90% sikkerhet, må kravet til beregnet Cpk med 20 observasjoner heves til 1.3 og med bare 10 observasjoner til 1.5. Merk imidlertid at dokumentasjon for at prosessen er under kontroll krever typisk mer enn 20 observasjoner.

Krav til beregnet Cpk ved n observasjoner (90% konfidensgaranti)

n	Krav til sann Cpk					
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
10	1.50	1.79	2.08	2.37	2.66	2.95
20	1.30	1.55	1.80	2.06	2.31	2.57
30	1.23	1.47	1.71	1.95	2.19	2.43
50	1.17	1.40	1.63	1.86	2.08	2.31
100	1.11	1.33	1.56	1.77	1.99	2.21
200	1.08	1.29	1.50	1.72	1.93	2.14

Kapabilitetsindekser knyttes ofte til sannsynligheten for at en produsert enhet er utenfor toleransene, noe som gjerne uttrykkes ved p.p.m. ("parts per million"). Følgende tabell er basert på normalfordelt variasjon:

Antall defekte blant 1 mill. (p.p.m.)

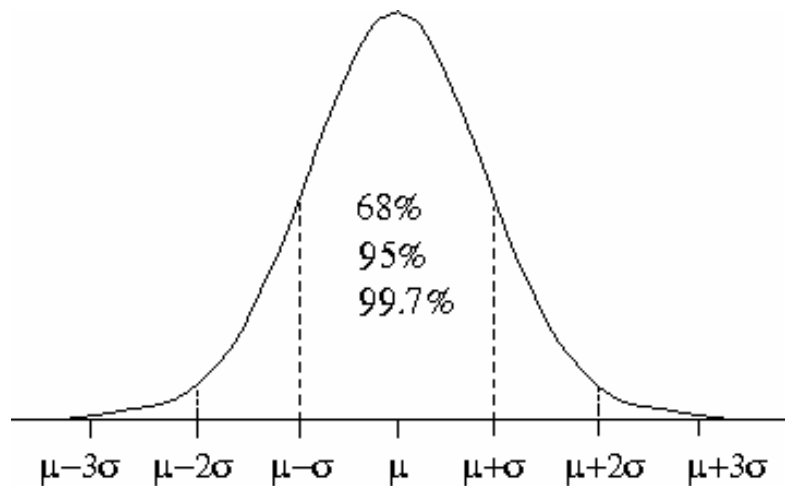
Cp	$\Delta_{pk} = C_p - C_{pk}$					
	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
1.00	2700	3950	8357	17913	35944	66811
1.10	967	1509	2274	8211	17868	35531
1.20	318	532	842	3470	8198	17865
1.30	96	172	487	1351	3467	8198
1.40	27	51	160	474	1350	3468
1.50	7	14	48	159	483	1350
1.60	2	4	13	48	159	483
1.70	0	1	3	13	48	159
1.80	0	0	1	3	13	48
1.90	0	0	0	1	3	13
2.00	0	0	0	0	1	3.4

Av en viss interesse er Motorola's "Six Sigma" begrep. Deres mål er at enhver prosess såvel i produksjon som i administrasjon skal ha en kapabilitet svarende til $C_p \geq 2$. For en sentrert prosess svarer dette til en forsvinnende liten defektrate. Motorola tillater imidlertid at prosessen er usentrert opp til 1.5σ . Dette betyr at vi må gå inn i tabellen ovenfor med $\Delta_{pk} = 0.5$, og dette gir 3.4 p.p.m., som er det tallet som ofte nevnes i forbindelse med "Six Sigma" programmet til Motorola.

Merknad. Kapabilitet er knyttet til variasjon av enkeltobservasjoner. Pass på at du ikke tabber deg ut ved å tegne toleransegrenser inn i et \bar{X} -diagram, der kontrollinjene er basert på variasjon av gruppegjennomsnitt. En annen sak er at (individuell) kapabilitet kan beregnes ut fra grupper av observasjoner

SPC og normalfordelingen

En del teori for statistisk prosessstyring bygger på at sannsynlighetsfordelingen til målte verdier av en karakteristikk er normalfordelte. Det gjelder f.eks. utarbeidelsen av noen av tabellene for bestemmelse av kontrollgrenser. Praksis har vist at normalitet ikke er en kritisk forutsetning. Metodene fungerer godt uten at dette er tilfelle.



Figur 17 Normalfordelingen

Tilnærmet normalitet forekommer imidlertid ofte i praksis. For prosesser i statistisk kontroll gjelder at variasjonen typisk er forårsaket av mange tilfeldige påvirkninger som virker uavhengig av hverandre. Ifølge statistisk teori vil uavhengighet typisk lede til tilnærmet normalitet (den såkalte sentralgrense-effekten). Dette bekreftes i praksis, og ikke-normalitet kan ofte være en indikasjon på at prosessen er ute av kontroll av spesielle årsaker.

11. Statistisk Prosess Styring satt i system

Hovedelementene i et system for statistisk prosessstyring slik vi finner det i mange industribedrifter i verdensklasse er illustrert i Figur 4 i det innledende avsnitt. Slike bedrifter vil typisk stille som krav at deres underleverandører har et tilsvarende system. Disse vil videreføre kravet til sine leverandører osv. Alle elementer i figuren må kunne dokumenteres i en kontrollplan, som vil være et sentralt dokument i dialogen mellom kunde og leverandør, og et godt utgangspunkt for revisjoner. La oss raskt gå igjennom hovedpoenget i Figur 4.

Vi ser at den består av en lukket styringsløyfe (PUSH-syklus) der en først planlegger produksjonen, deretter fastlegger de målbare størrelser som en skal følge opp med studier av variasjon, her kalt nøkkelkarakteristikker. Etter å ha klarlagt variasjonsmønsteret til en karakteristikk stiller en spørsmålet om denne er under statistisk kontroll og kapabel, dvs. oppfyller angitte toleransekrav. Hvis svaret er nei, må en søke årsakene til variasjonen og styre disse før en igjen kan stille spørsmålet om nøkkelkarakteristikken er under kontroll og kapabel. Vi ser at selv om svaret er bekreftende legges det opp til kontinuerlig forbedring.

Hva bør måles? - Nøkkelkarakteristikker!

Nøkkelkarakteristikk er en målbar egenskap med variasjon som kan ha betydningsfull innvirkning på det ferdige produkt eller komponent mht. kvalitet sett med kundens øyne, herunder ytelse, funksjon, form, tilpasning og levetid.

Typisk ønsker en å fastlegge et mindre antall slike karakteristikker som en setter i fokus når begrensede kontrollressurser er tilgjengelig. Disse er også med på å bestemme hvor en mest hensiktsmessig bør sette i kontrollfunksjoner oppstrøms i produksjonsprosessen. Nøkkelkarakteristikker vil kunne stå sentralt i en dialog mellom kunde og en langsiktig leverandør med sikte på produktforbedringer

Begrepet nøkkelkarakteristikk må ikke forveksles med detaljer i konstruksjonen, ei heller med kritiske karakteristikker knyttet til sikkerhet. En slik karakteristikk kan være en nøkkelkarakteristikk, men behøver ikke være det.

Nøkkel-prosessparameter er en oppstrøms målbar prosessparameter, dvs. styrbar faktor som kan tenkes å påvirke (i vesentlig grad) variasjonen i en nøkkelkarakteristikk. Det skjer typisk ved at den selv varierer.

Sammenhengen mellom en eller flere nøkkel-prosessparametre og en nøkkelkarakteristikk kartlegges ofte best ved planlagte statistiske forsøk.

En kunde som inngår et langsiktig leverandørforhold og som stiller krav om at leverandøren har satt SPS i system, vil ofte selv ha definert nøkkelkarakteristikker ved det produkt som skal leveres. Dette er i så fall avtalt i kontrakt. Leverandøren kan imidlertid velge å supplere disse ut fra egen innsikt i produktet og dets sammenheng med produksjonsprosessen og forbedringsmulighetene. Over tid kan noen karakteristikker falle ut og andre komme til. I noen tilfeller har kunden ikke spesifisert nøkkelkarakteristikker overhodet, men krever at leverandøren gjør det selv. Da er det hensiktsmessig for kunde og leverandør å ha en felles systematikk for å bestemme karakteristikkene.

AQS - systematikk

Enkelte store industriforetak har velutviklede systemer for statistisk prosessstyring, som også tilbys underleverandører eller de som ønsker å bli det. Et godt eksempel på dette er flyfabrikken Boeing's AQS system (Advanced Quality System), som

forutsetter at et vanlig kvalitetssikringssystem allerede er etablert.³ Systematikken i AQS er (jfr. tidligere figur)

I. Fastlegg nøkkelkarakteristikker

- A. Er nøkkelkarakteristikker fastlagt av kunde?
- B. Innsamling av data for å bestemme nøkkelkarakteristikker
- C. Fastsett nøkkelkarakteristikker
- D. Dokumenter nøkkelkarakteristikker i AQS-kontrollplanen

II. Dokumenter variasjonsbildet

- A. Fastsett prosessstrinn der nøkkelkarakteristikk blir målt
- B. Velg hensiktsmessig kontrolldiagram
- C. Dokumenter prosessstrinn, kontrolldiagram, stikkprøvestørrelse og frekvens i AQS-kontrollplan
- D. Datainnsamling og føring av kontrolldiagram

III. Identifiser og overvåk variasjonskilder

- A. Er nøkkelkarakteristikk under statistisk kontroll?
- B. Tilfredsstiller nøkkelkarakteristikk minimumskrav til kapabilitet?
- C. Er det mulig å påvise spesielle årsaker til variasjon?
- D. Fjern spesiell årsaker til variasjon.
- E. Supplerende datainnsamling.
- F. Er måleusikkerheten undersøkt og dokumentert.
- G. Undersøk måleutstyrets måleusikkerhet og dokumenter i AQS-kontrollplanen.
- H. Ble det utført korrektive tiltak på målesystemet?
- I. Identifiser mulige kilder til prosessvariasjon.
- J. Sammenhold årsaker til prosessvariasjon med nøkkelkarakteristikk.
- K. Innfør kontroll av nøkkel-prosessparametre.
- L. Dokumenter prosessstrinn, nøkkel-prosessparametre, innstillinger av prosessparametre og kontrollmetoder i AQS-kontrollplanen.
- M. Oppdater prosessdatabasen eller arkiv for historiske data.

Vi vil her drøfte nærmere de forhold som bestemmer hva som skal måles. Først bestemmelsen av nøkkelkarakteristikker:

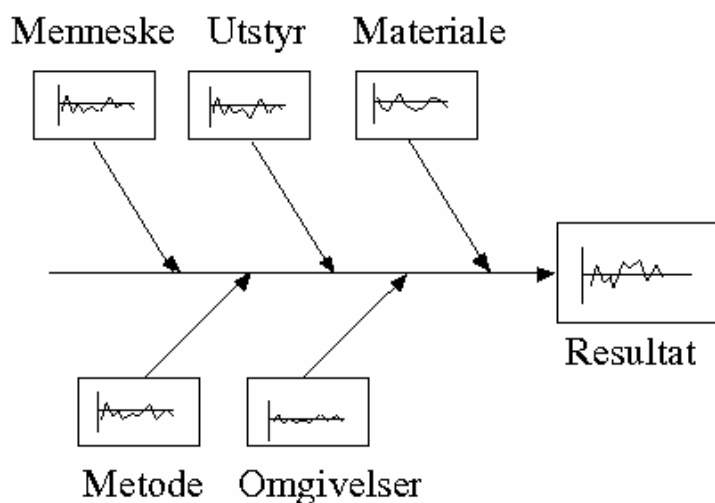
Boeing krever at de innsamlede data må være relevante mht. form, tilpasning, ytelse og levetid. Det kan basere seg på kunnskap om produktets tiltenkte bruk og bruksmiljø. Informasjon kan komme fra tegninger og spesifikasjoner mht. produkt og prosess, men også tilgjengelig historie mht. avvisning, garantikrav osv. Bestemmelsen av nøkkelkarakteristikker skjer best ved idedugnad og Paretoanalyse. Følgende systematikk er anbefalt:

³ Boeing er i hovedsak en montasjebedrift med store og små underleverandører fra et mangfold av sektorer og fra hele verden. Deres erfaringer er relevant også for norske bedrifter.

1. Foreta idedugnad som lister opp alle potensielle nøkkelkarakteristikker
2. Foreta idedugnad på mulige årsaker til avvik og uønsket variasjon for hver potensiell nøkkelkarakteristikk, basert på historiske data og erfaring.
3. Identifiser mulige uønskede effekter av avvik og variasjon i hver potensiell nøkkelkarakteristikk.
4. Anslå muligheten for at uønsket avvik og variasjon oppstår (forekomst)
5. Anslå for hver uønsket effekt graden av alvorlighet sett med kundens øyne.
6. Anslå risikoen for at avviket ikke oppdages før produktet sendes kunden.
7. Sammenfatt vurderingene og velg ut et lite antall nøkkelkarakteristikker for produktet (typisk 3-5).

Punkt 4-7 kan gjennomføres ved en form for FMEA analyse, der hver av de tre faktorene forekomst, alvorlighet og uoppdagbarhet anslås med et risikotall på en skala fra 1 til 10 med 10 som det høyeste. Som sammenfattende risikotall brukes produktet av disse tre. De potensielle nøkkelkarakteristikkene som har fått høyest risikotall velges så ut. Konkret veiledning i fastsetting av risikotall er del av systemet.

Før nøkkelkarakteristikker kan måles, må det bestemmes hvor i produksjonsflyten dette kan og bør skje. Det bør skje tidligst mulig, og helst av den som er direkte ansvarlig for det aktuelle prosesstrinn. Bare unntaksvis skjer målinger på sluttproduktet selv. Et prosessflytdiagram vil være et godt utgangspunkt for klarlegging og diskusjon av aktuelle målepunkter.



Figur 18 Kilder til variasjon

Bestemmelse av kilder til variasjon i en nøkkelkarakteristikk kan igjen skje ved idedugnad basert på erfaring og historisk informasjon der en gjør bruk av egnede verktøy: flytdiagram, årsak-virkningsdiagram osv. Kildene finnes i en eller flere av de prosesser som er relevante for produksjonen, og kan være knyttet til en eller flere av de 6M'er: menneske, maskin, materiale, metode, miljø og måling, se figur. I teknologibedrifter med tildels automatisert produksjon vil resultatet i stor grad avhenge av prosessparametre og deres parameterinnstillinger i de forutgående prosesser.

Aktuelle oppstrøms prosesser må prioriteres iht. den relative betydning den antas å ha for den nøkkelkarakteristikk som er under lupen. Høyt prioriterte prosesser bør overvåkes ved kontroll diagrammer, spesielle årsaker til variasjon bør fjernes gjennom korrektive tiltak. Prosesser ute av kontroll bør bringes under kontroll. I en rekke tilfeller kan en nøkkelkarakteristikk som ikke er under kontroll og kapabel bli det med enkle oppstrøms tiltak.

En nøkkelkarakteristikk som er brakt under kontroll, men ikke er kapabel krever ytterligere oppfølging. Reduksjon av dennes variasjon må da skje ved styrte prosessendringer

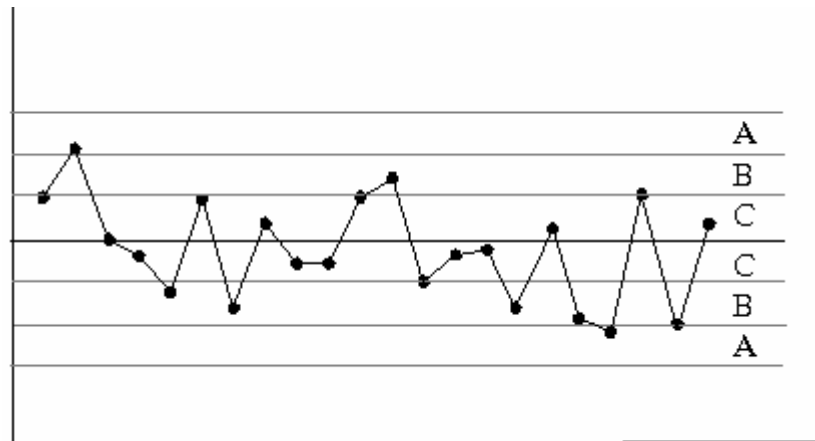
- enten ved endringer i innstillinger av prosessparametre
- eller mer fundamentale endringer av prosessen

De er to muligheter: prøve og feile eller systematisk planlagte forsøk. Det første skjer vanligvis ved at en identifiserer den prosess som antas å ha størst innvirkning på variasjonen, prøver tilsynelatende fornuftige endringer og studerer virkningen med nye målinger. Dette kan imidlertid innebære mye bortkastet tid. Ved å endre prosessparametre uten å forstå hvorfor resultatet ble som det ble, har en neppe lært noe som kan komme til nytte senere. Ved prøving og feiling greier en typisk å håndtere bare en parameter av gangen, mens det i praksis kan være samspill mellom disse. Det er da betydelig fare for å overse en gunstig kombinasjon. Ved planlagte forsøk kan en først bestemme de prosessparametre som har betydning (nøkkelprosessparametre) og deretter finne en gunstig kombinasjon av innstillinger av disse.

Når en prosessforbedring er funnet og valgt som standard for fremtiden, er det nødvendig å iverksette tiltak som sikrer at nøkkelprosessparametre og deres innstillinger ikke endres. Dette kan skje ved prosedyrer, operatør opplæring og andre hjelpeverktøy, bl.a. såkalt «idiotsikring». Kontroll diagram vil da typisk inngå på operatørnivå. Forbedringen kan i sin tur medføre at enkelte nøkkelkarakteristikker nedstrøms ikke lenger er så betydningsfulle og kan fjernes fra listen (de har fått et lavere risikotall). Kontrollplanen blir så oppdatert iht. den nye situasjonen.

12. Mer om tolkning av kontroll diagrammer

Når et punkt faller utenom kontrollinjen, vil en anta at prosessen er ute av kontroll, og dermed forsøke å finne den/de spesiell(e) årsaken(e) til dette. Imidlertid vil også spesielle mønstre av punkter innenfor kontrollinjen også gi grunnlag for å anta at prosessen er ute av kontroll, og en finner i litteraturen en rekke forslag til automatiserte regler. En mulighet er å dele området fra senterlinjen til hver av kontrollinjen i tre soner, se Figur 19.

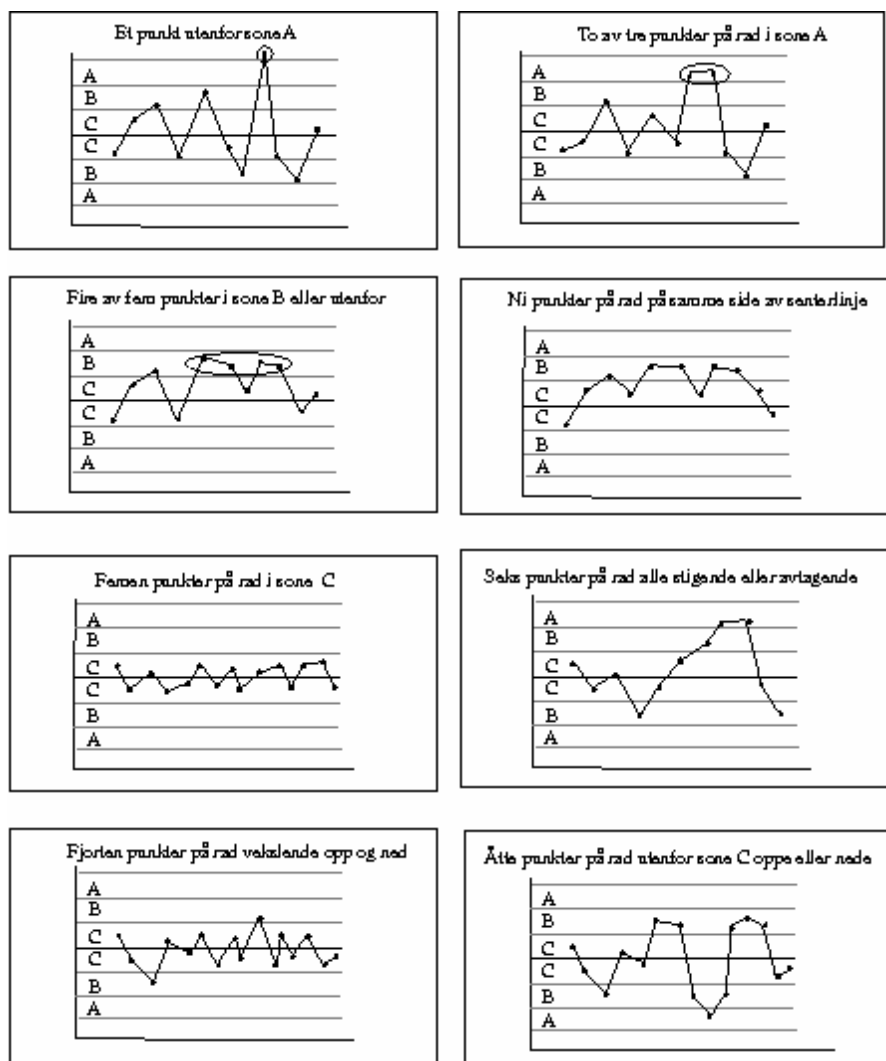


Figur 19 Tre soner

Følgende situasjoner er blitt brukt som indikator på at prosessen er ute av kontroll:

- a. Et punkt utenfor sone A.
- b. To av tre etterfølgende punkter på samme side av senterlinjen i sone A.
- c. Fire av fem etterfølgende punkter på samme side av senterlinjen i sone A eller B.
- d. Ni etterfølgende punkter på samme side av senterlinjen.
- e. Femten etterfølgende punkter er innenfor sone C.
- f. Seks etterfølgende punkter er monotont stigende eller avtagende.
- g. Fjorten etterfølgende punkter alternerer opp og ned.
- h. Åtte punkter på rad utenfor sone C oppe eller nede.

I Figur 19 er det ingen slike mønstre, og prosessen kan med rimelighet antas å være i kontroll. Figur 20 illustrerer situasjonene a-h. Bakgrunnen for hver av disse er at når prosessen er "i kontroll", har hver situasjon b-h omtrent samme sjans for å inntreffe som a. Mange begrenser antall regler til fire, nemlig a, b, c og h. Disse fire kalles ofte "The Western Electric rules", etter et amerikansk foretak som var tidlig ute med å formulere slike regler.



Figur 20 Indikasjoner på kontrollavvik

Når data egentlig kommer fra to eller flere populasjoner som burde vært holdt adskilt, kan et \bar{X} -diagram vise atypisk oppførsel, som ofte ikke er lett å avsløre eller lett kan bli misforstått. Det kan f.eks skje når vi har

- råstoff fra flere leverandører
- produserte enheter fra ulike maskiner/skift

Det er i hovedsak to situasjoner (her diskutert i tilfellet med to populasjoner)

1. Observasjon vekselvis fra hver sin fordeling
2. Hver gang observert fra begge fordelinger, enten i fast andel eller i samsvar med blandingsforholdet av populasjonene

I det første tilfellet blir typisk punktene (\bar{X}) ligge nær kontrollinjene, mens i det andre tilfellet vil punktene typisk kunne ligge nær senerlinjen med liten

variasjon. Dette kan forlede en nybegynner til å tro at prosessen er i spesielt god kontroll. Dersom antallet fra hver populasjon er det samme hele tiden, f.eks. samme forhold som andelen fra hver leverandør/maskin/skift, vil prosessen kunne virke stabil over tid. Dersom antallet fra hver populasjon varierer over tid, f.eks. pga. at leveranser/produksjon varierer, vil kontrolldiagrammet kunne ha et ustabil utseende, med hyppige punkter nær kontrollinjene enkeltvis eller flere på rad.

Dersom kontrolldiagrammet indikerer at prosessen er ute av kontroll, og vi leter etter årsaken, kan følgende spørsmål være til hjelp:

- Har det skjedd endringer i målemetoder eller rapporteringsrutiner?
- Har det skjedd endringer i arbeidsrutiner til medarbeider(e)?
- Er ny og utrenet arbeidskraft benyttet?
- Har det skjedd endringer i input til prosessen (råstoff osv.)?
- Er utstyr blitt justert, vedlikeholdt eller nytt utstyr tatt i bruk?
- Er prosessen blitt påvirket av slitasje (redskaper, menneskelig)?
- Er prosessen påvirket av endringer i omgivelsene?
- Er medarbeidere redde for å rapportere dårlige nyheter?

13. Rasjonell organisering og gruppering av data

Rasjonell organisering for IX-diagram

Ved innsamling og plotting av data for kontrolldiagram for enkeltobservasjoner må en sørge for at

- registreringsmåten er veldefinert
- punktene plottes i en naturlig rekkefølge

Ellers er det lett å forkludre det hele. Hvis registreringmåten ikke er veldefinert, vil en typisk kunne få økt variasjon i tillegg til den naturlige prosessvariasjon, og er en uheldig signaliserer denne ikke en spesiell årsak. I dette tilfellet får vi videre kontrollinjer enn vi egentlig burde. Dette betyr mindre følsomhet, dvs. mindre evne til å peke ut avvikere av andre spesielle årsaker. Det vil også kunne medføre at en eventuell beregnet kapabilitet er lavere enn den i virkeligheten er. At punktene plottes i naturlig rekkefølge bør i de fleste situasjoner ikke by på noe problem, tidsrekkefølgen er den naturlige. Det kan imidlertid være situasjoner der det ikke er klart hva denne er. Det kan skyldes usystematiske registrering og/eller at observasjoner kommer i grupper.

Et eksempel på dette er en støpeprosess, der formen gir flere (f.eks.4) enheter av produktet i hver støpning. Det er ikke likegyldig hvordan data (f.eks. målt tykkelse av hver enhet) organiseres. Dersom det er forskjeller i selve formen mht. de 4 enkeltformene (a,b,c,d) vil rekkefølgen påvirke såvel vår evne til å se disse forskjeller i diagrammet som de beregnede kontrollinjer. En vil også

kunne trå feil dersom en velger ut enheter fra produksjonen på en (u)systematisk måte. I denne situasjonen kan en f.eks. diskutere konsekvensen av å plote:

- alle 4 i en støpning i tilfeldig rekkefølge
- alle 4 i en støpning i systematisk rekkefølge a, b, c, d
- alle 4 i en støpning i ordnet etter målt størrelse
- utvalgt fast enhet blant a, b, c, d fra hver støpning
- utvalgt hver 10. enhet i produksjonen (evt. hver 9.)

I denne sammenheng må en ta opp spørsmålet om IX- diagram overhodet er hensiktsmessig, og om en heller burde bruke et (eller flere) \bar{X} - diagram.

Rasjonelle grupper for \bar{X} -diagram

Som kjent innebærer \bar{X} -diagrammet plotting av gjennomsnittet av målinger i grupper på n. Slike grupper kalles vanligvis *rasjonelle undergrupper* (engelsk: «rational subgroups»), og må være klart definert i enhver konkret anvendelse. Hva er så rasjonelt (eller hensiktsmessig)? Grovt sagt: Rasjonelle grupper bør være definert slik at prosessens budskap har størst sjanse for å nå fram. Kort sagt: Skille signal fra støy! Dette betyr at vi skal kunne skille ulike typer variasjon og kunne avdekke mulige årsaker til variasjon. Et godt valg skal redusere faren fra at visse spesielle årsaker forkludrer bildet når en ønsker å få avdekket

- den «naturlige» prosessvariasjonen
- andre spesielle årsaker

Tre hovedprinsipper er:

1. Unngå å gruppere sammen ulike ting.
2. Definer grupper slik at
 - variasjonen innen gruppen er minst mulig og
 - variasjonen mellom grupper er størst mulig.
3. Gjennomsnitt beregnes på tvers av støy (fellesvariasjon) og ikke på tvers av signaler om spesiell variasjon.

Dette innebærer ofte at hvert plottepunkt i et \bar{X} -diagram er basert på et utvalg enheter produsert under de samme forhold, dvs. samme tid og sted. Dette gir det beste utgangspunktet for

- overvåkning av etablert og vanligvis stabil prosess,
- etablering av foreløpige kontrollinjer i en ny eller modifisert prosess,
- avdekking av gradvise prosessendringer.

Variasjon innen undergrupper brukes til å beregne kontrollinjene, og det er denne variasjonen som bestemmer hvor følsomt kontrolldiagrammet blir. Et uklokt valg vil kunne medføre at variasjonen innen gruppene blir unødig stor og

dermed gir unødig vide linjer. Punkter som avviker av spesielle årsaker, og som kunne vært avslørt, blir det ikke, fordi de blir liggende innenfor kontrollinjene.

I en løpende produksjonsprosess er som oftest gruppedefinisjon uproblematisk: Ta n enheter innenfor en forholdsvis kort tidsperiode, ofte etterfølgende. Problemer kan oppstå dersom det eksisterer systematikk som allerede i utgangspunktet er mulig spesiell årsak til variasjon. Hvis en kjenner til forholdet, kan en ta omsyn til det ved design av kontrollplanen. Eksemplet ovenfor fra støpeprosessen der flere enheter støpes av gangen er illustrerende. Anta at vi har målinger fra 4 enheter (a, b, c, d) støpt i samme form i 4 delformer fra 5 etterfølgende støpninger gjentatt hver 6 time. Data kan da organiseres på flere måter:

A: Enhetene i hver form utgjør undergrupper ($n=4$) og gjennomsnitt av målte verdier for disse er plottepunkt. Etterfølgende plottepunkter er da fra støpning 1, 2, 3, 4, 5 ..., x , $x+1$, ...,

B: De 5 etterfølgende støpninger utgjør undergruppe ($n=5$) og gjennomsnitt av målte verdier for disse er plottepunkt. Etterfølgende plottepunkter er syklusen a, b, c, d, a, b, c, d, ...

Forskjellen mellom de to måtene er

Variasjon mellom	Valg A	Valg B
	Variasjonen er	Variasjonen er
Tid på dag	mellom grupper	mellom grupper
Etterfølgende støp	mellom grupper	innen grupper
Delformer	innen grupper	mellom grupper

Ved gruppevalg A blir variasjonen mellom delformene (som kan være ulike) gjort til variasjon innen gruppe. Denne danner utgangspunkt for beregning av kontrollinjer for \bar{X} (som blir vide), og plottepunktet er gjennomsnittet innen gruppen (som utviser eventuelle forskjeller). Ved gruppedefinisjon B blir variasjonen mellom etterfølgende støpninger i samme delform (som typisk varierer mindre) gjort til variasjon innen gruppe. Denne danner utgangspunkt for beregning av kontrollinjer for \bar{X} (som blir smalere) og plottepunktene er gjennomsnitt innen gruppen (som kan variere i syklusen a, b, c, d, ..., . Eventuelle forskjeller mellom tider på dag (som kan være større) vil også fremtre. Et tredje alternativ C vil være å føre separate diagrammer for hver av de 4 delformene, evt. ført i samme skjema med hver sine senterlinjer og kontrollinjer.

Hva er egnet gruppestørrelse n ?

Dette avhenger av den prosess som studeres og kostnadene ved stikkprøvetaking og analyse. Her er noen argumenter som er brukt:

- hvis prosessen er destruktiv $n = 1$
- hvis kostnadene er store $n = 2, 3$
- hvis normalgaranti ønskes $n \geq 4$

- hvis en ønsker enkle beregninger $n = 5$
- hvis en ønsker stor følsomhet $n \geq 10$

Hva er egnet tidsintervall?

Her fins ingen god generell veiledning, og en må ofte bygge på erfaring med aktuelle prosess der en har gått gjennom en fase med prøving og feiling.

Alt en kan si er

- hyppige stikkprøver er bra dersom
 - prosessen er ny eller nylig modifisert
 - foreløpige kontrollinjer skal etableres
 - formålet er studiet av spesielle årsaker
- sjeldne stikkprøver er godt nok for
 - veletablerte prosesser med god historie, dvs. gjennomgående stabil med liten risiko.

14. Terminologi

Valg av terminologi er viktig. På engelsk snakker man om Statistical Process Control (SPC). Den direkte oversettelse til norsk Statistisk Prosess Kontroll frarådes, idet ordet kontroll gjerne bare forbindes med kontrollere, og dermed til den oppfatning at det hele dreier seg om overvåke prosesser med sikte på å holde seg innenfor satte toleranser. Dette er feil! Ordet "control" har en videre betydning på engelsk, mer i retning av det å styre. Vi har nok en slik videre betydning også på norsk, som det å holde situasjonen "under kontroll", men det er ikke nødvendigvis denne assosiasjon medarbeidere får. Vi burde derfor kanskje ha valgt termen styringsdiagrammer istedenfor kontrollidiagram. Mange liker hverken kontroll eller styring, og for å få frem det riktige budskap burde en forsøke å finne enda bedre ord. En kapasitet på feltet som Wheeler foretrekker betegnelsen "process behavior chart" istedenfor "control chart" og "predictable process" istedenfor "process in control". En forutsigbar prosess betyr da at "prosessen holder styr på seg selv" uten at noen kontrollerer og griper inn. Alternative betegnelser på norsk er prosessvariasjonsdiagram og variasjonsgrenser. Det er også et problem ved valg av norske betegnelser for de to hovedtyper variasjon. På engelsk har man bruk betegnelsene "common cause variation" vs. "special cause variation". Ordet "common" på engelsk dekker både "vanlig" og "felles" som begge sier noe om hva det er, mens ingen av de to alene dekker det på norsk. På engelsk har man også brukt betegnelsene "unassignable cause" og "assignable cause".

15. Statistisk prosessstyring og kvalitetsledelse

I kvalitetsstyring er man opptatt av avvik, oftest i sammenheng med avvik fra et ønsket resultat, f.eks. sett i forhold til en nominell verdi, en spesifisering eller et ønske om null feil.

Variasjon er som begrep ikke det samme som avvik, noe som ofte medfører misforståelser.

I praksis har en ofte en prosess som i utgangspunktet varierer rundt nominell verdi, men som etter en tid systematisk endrer sitt variasjonsmønster av en spesiell årsak. Det kan f.eks. være at prosessen gradvis eller momentant begynner å variere rundt en annen verdi ("kommer ut av stille") eller har større variasjon enn før. Vi har på sett og vis fått en ny (men uønsket) prosess. I forhold til en standard vil dette bli betegnet som et avvik, og i dagligtale vil en være tilbøyelig til å si at situasjonen er "ute av kontroll", selv om prosessen fortsatt skulle være "i statistisk kontroll, men med større variasjon eller rundt et annet nivå enn i utgangspunktet, som f.eks. kan være dokumentert i et kontrolldiagram. Dersom dette kontrolldiagram med sine beregnede kontrollinjer videreføres med nye observasjoner, vil være i stand til å avsløre

- sporadiske episoder av spesielle årsaker
- systematiske avvik eller endringer av spesielle årsaker

En systematisk endring kan altså være til en annen og ny, men uønsket, "i statistisk kontroll"-situasjon.

Et godt eksempel er skyting på blink. Betrakt en skytter som skyter to skuddserier med like god samling av skuddene på begge serier. Forskjellen er at den ene serien varierer tilfeldig rundt sentret i blinken, mens den andre varierer tilfeldig rundt et punkt utenfor sentret. Det var en spesiell årsak til det, nemlig at skytteren ikke hadde korrigeret for endre vindretning før den andre serien. Begge skuddserier er i "statistisk kontroll" (tilfeldig variasjon rundt en forventning), mens den ene har et systematisk avvik, som det er lett å korrigere for.

Et problem i praksis er at mange ikke er klar over omfanget og karakteren av variasjonen i de prosesser de har med å gjøre. De har kanskje et ønskemål, men oppfatter ethvert avvik fra dette som noe spesielt som en kan gjøre noe med. Hvis en oppfatter den iboende variasjon (av felles/vanlige årsaker) som variasjon eller avvik av spesielle årsaker, og korrigerer/justerer prosessen, risikerer en bare å øke prosessens variasjon. Dette kalles **overstyring**, og er lett å illustrere i eksemplet med skyting på blink: Etter ett enkelt skudd ser skytteren at han bommet litt, og tolker avviket fra sentrum i blinken som at siktet ikke er riktig innstilt (en spesiell årsak). Han korrigerer derfor i forhold til det observerte avvik. I en situasjon der siktet i virkeligheten var korrekt innstilt,

vil slik adferd med korreksjon etter hvert skudd faktisk medføre at variasjonen omkring sentrum i blinken øker med ca. 40%!

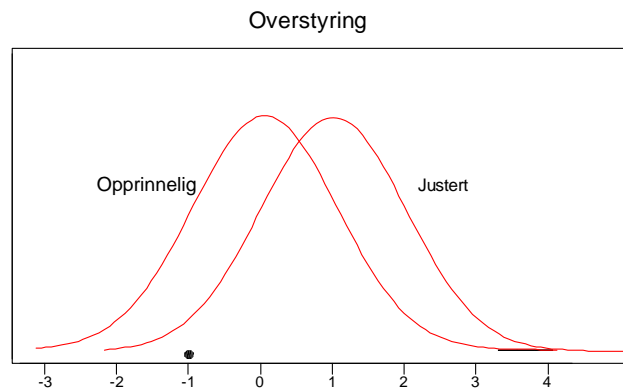


Figure 21 Overstyring

Overstyring er også illustrert i Figur 21. Anta at en prosess i utgangspunktet varierer omkring 0 som er nominell verdi, men at man ikke er bevisst at den iboende variasjon er fra ca. -3 til 3 som vist i figuren. Anta at den første observasjon av prosessen er -1 , illustrert med en prikk i figuren, og dette ikke oppfattes tilfeldig iboende variasjon i prosessen, men som et avvik av spesiell årsak som man kan korrigere for. En flytter da målet en enhet mot høyre, og får da isteden variasjon rundt $+1$. Forstter en med slik justering etter hver ny observasjon, ser en at en bare "fikler" med prosessen og påfører denne økt variasjon.

Vi har altså sett at prosesser i hovedsak har to typer variasjon:

- Variasjon av felles/vanlige årsaker
- Variasjon av spesielle årsaker

Vi må kunne skille mellom disse og forstå hvilke tiltak som kreves for å redusere eller fjerne variasjon av hver av de to årsaker.

Variasjon av fellesårsaker kan ikke reduseres eller fjernes uten at prosessen endres. Problemet er med andre ord iboende i prosessen, og løsning en endring krever mer enn justering av denne. For en prosess i kontroll er det bortkastet å fokusere på forskjeller mellom høye og lave observasjoner, ingen observasjoner er spesielle, hverken de høye eller de lave, eller de vi ikke liker. Skal denne variasjon reduseres kreves det mer fundamentale endringer. Ledelsen må fokusere på prosessen, ikke på enkeltavvik og enkeltindivider. Umiddelbar reaksjon på prosessen vil typisk øke variasjonen. Det vil kunne gjøre skade på prosessen, kanskje hele systemet og individene knyttet til det.

En fellesårsak krever gjennomtenkte handlinger, som ofte betyr grundige studier og diskusjon i en videre krets. Det er et lederansvar å håndtere dette, men det er sjelden at en enkeltperson (leder eller konsulent) har tilstrekkelig innsikt til med en gang å oppdage, prioritere og fjerne grunnårsakene til variasjon. Individuer som arbeider i systemet, leverandører og kunder bør involveres, og en prosjektgruppe kan være en egnet arbeidsform. Dette dreier seg om kvalitetsforbedring og –fornyning.

Spesielle årsaker er ikke innebygget i systemet, og kan fjernes uten å endre det, ofte på lavt nivå i organisasjonen. Det krever ofte individuell fokus: en arbeider, en selger, en kunde, en leverandør, en avdeling, en maskin, en design, et produkt osv. Slike årsaker kommer og går, og krever derfor umiddelbar oppmerksomhet, hvis ikke kan årsaken lett forbli uoppdaget og problemet forbli uløst. Dette dreier seg om kvalitetsvedlikehold, dvs. kvalitetsstyringen i den daglig drift som består i å finne årsak til problem, fjerne denne og hindre at problemet oppstår igjen.

	Type reaksjon ved observert variasjon		
Årsak	Juster prosessen	Undersøk forskjellene	Endre prosessen
Felles	NEI!	NEI!	JA! Krever dypere innsikt
Spesiell	Kanskje Reparasjon	JA! Fiks problemet! Hindre gjentak	NEI!

Fjerning av spesiell variasjon

- Foreta regelmessig registrering av egnede data om viktige prosesser innen ditt ansvarsområde , og bruk egnede varselsindikatorer i sammenheng med kontrolldiagrammer.
- Undersøk straks årsak til prosessavvik når kontrolldiagram signaliserer spesiell årsak. Finn ut hva som skiller dette fra tidligere avvik.
- Ikke gjør fundamentale endringer i denne prosessen. Forsøk isteden å fjerne det spesielle eller lokale problem uten å endre prosessen.
- Fundamentale endringer må eventuelt skje på "høyere" nivå.

Reduksjon av variasjon/problemer med fellesårsaker:

- Samle informasjon og synspunkter fra bred gruppe personer, fra ledelse til stab fra ulike funksjonsområder relatert til prosessen.
- Identifiser og ranger problemer (Paretoanalyse).

- Forbedre måleprosesser dersom dette bidrar i vesentlig grad til den observerte variasjon.
- Studer resultater fra delprosesser. Sammenlign observasjoner i ulike gruppe (strata).
- Undersøk årsak-virkning relasjoner.
- Gjør eksperimenter (hvis mulig).

Man har i hovedsak to typer feil med feil reaksjonsmåte:

1. Avvik eller feil tilskrives en spesiell årsak når årsaken er del av systemet (fellesårsak)
Typisk eksempel : Overstyring.
2. Avvik eller feil oppfattes som del av systemet når den i virkeligheten skyldes en spesiell årsak.
Typisk eksempel : Aldri følge opp avvik.

og de typiske konsekvenser er: Bortkastet tid og energi, avledet oppmerksomhet, mer kompleksitet og variasjon i systemet, tap av produktivitet, redusert arbeidsmoral, tap av tillit til ledelse, problemene fortsetter, som til syvend og kan sette arbeidsplassene i fare.

16. Oppsummering

- Resultater i alle prosesser og systemer varierer
- Bruk data til "å lytte til prosessen", og du oppnå bedre resultater
- Det er to hovedtyper variasjon :
 - Fellesvariasjon (iboende variasjon)
 - Spesiell variasjon
- Kunnskap om forskjellen er nødvendig for å velge riktig reaksjon på avvik fra forventninger.
- Kontrolldiagram basert på statistiske prinsipper er det mest slagkraftige verktøy for å skille mellom de to ulike typer variasjon.
- For å gi resultater på lengre sikt, må statistisk tankegang og bruk av kontrolldiagrammer starte ledelsen, og etterhvert tas i bruk på alle nivå. Virksomheten må systematiseres og bli permanent del av organisasjonskulturen.

Dette er sentrale elementer i moderne kvalitetsfilosofi!

17. Programvare

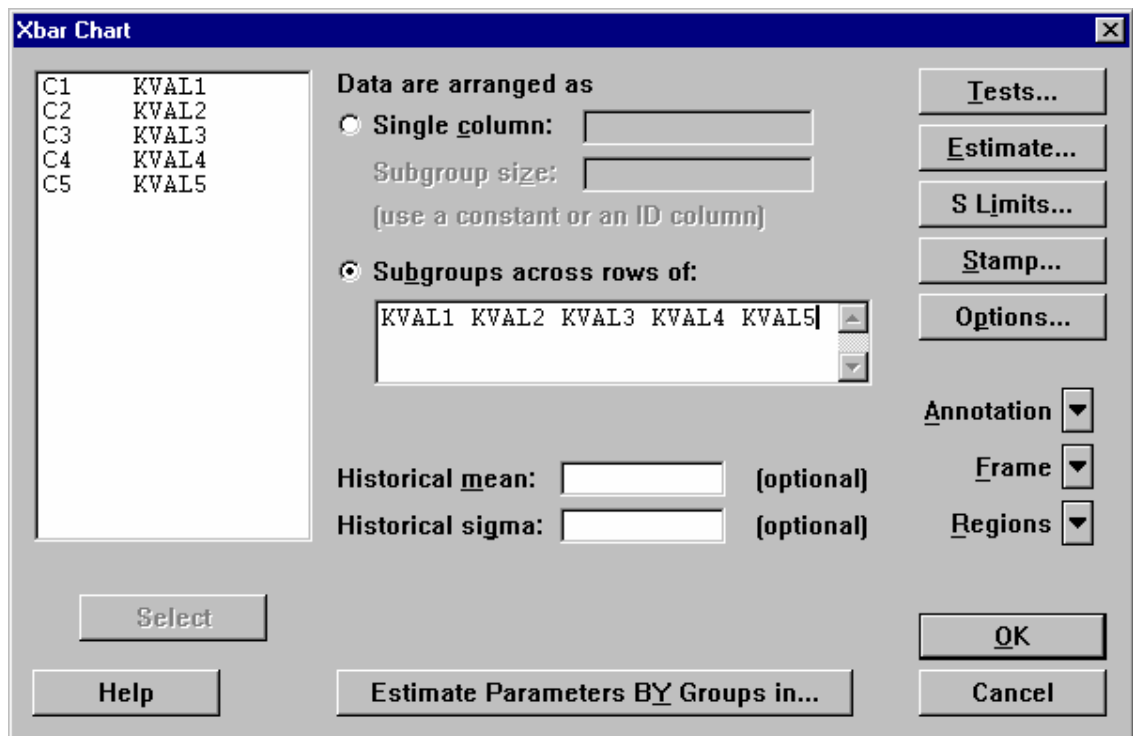
Standard statistisk programvare har typisk control charts på sine menyer. Vi viser nedenfor menyen i programpakke MINITAB. Dette er en programpakke med høy faglig kvalitet, som omfatter også andre menyer av interesse i kvalitetsarbeid, bl.a. forsøksplanlegging. Det er imidlertid ikke sikkert at slik programvare er den beste for on-line operasjonell bruk.

Nedenfor ser vi et Minitab-arbeidsområde med datene fra teksten som 50 linjer og 5 kolonner. På hovedmenyens **Stat** finner vi **Control charts**, der **Xbar** er et av mange valg.

The screenshot shows the Minitab software interface. The 'Stat' menu is open, and 'Control Charts' is selected. The 'Xbar' option is highlighted. The background shows a data table with 5 columns (C1-C5) and 28 rows of data. The data is as follows:

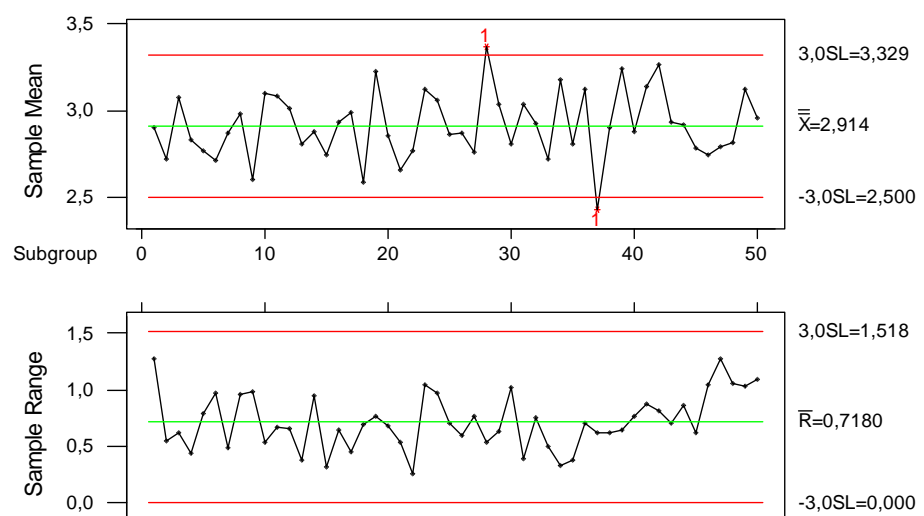
	C1	C2	C3	C4	C5
	KVAL1				
1	3,41				
2	3,03				
3	2,80				
4	2,70				
5	2,33				
6	3,41				
7	2,62				
8	3,59	3,17	2,80		
9	2,83	2,05	2,57		
10	3,44	2,93	3,19		
11	3,35	3,18	3,26		
12	3,27	2,62	3,13		
13	2,72	3,02	2,75		
14	2,41	2,85	2,54		
15	2,57	2,75	2,88		
16	2,75	2,97	2,67		
17	3,12	2,86	3,29		
18	2,15	2,66	2,51		
19	3,01	2,83	3,20	3,52	3,60
20	3,14	3,16	2,59	2,89	2,48
21	2,40	2,54	2,93	2,86	2,56
22	2,86	2,66	2,88	2,63	2,79
23	3,56	3,31	2,99	2,52	3,24
24	3,45	2,54	2,61	3,19	3,51
25	2,64	2,68	2,76	3,34	2,90
26	2,82	2,58	3,01	3,18	2,77
27	2,92	2,23	2,72	2,99	2,95
28	3,19	3,51	3,69	3,16	3,33

Ovenstående valg gir et panel for utfylling, der vi har spesifisert de 5 datakolonnene. Dette gir kontrolldiagrammet som er gitt i teksten, der R-metoden er "default". Vi ser også at det foreligger en rekke opsjoner mht. valg av alternative metoder: S-metoden og angivelse av linjer basert på tidligere erfaring. Det er også mulig å få markert spesielle observasjoner som avviker iht. de kriteriene vi har beskrevet ovenfor. I tillegg er det en rekke opsjoner mht. utseendet av kontrolldiagrammet.

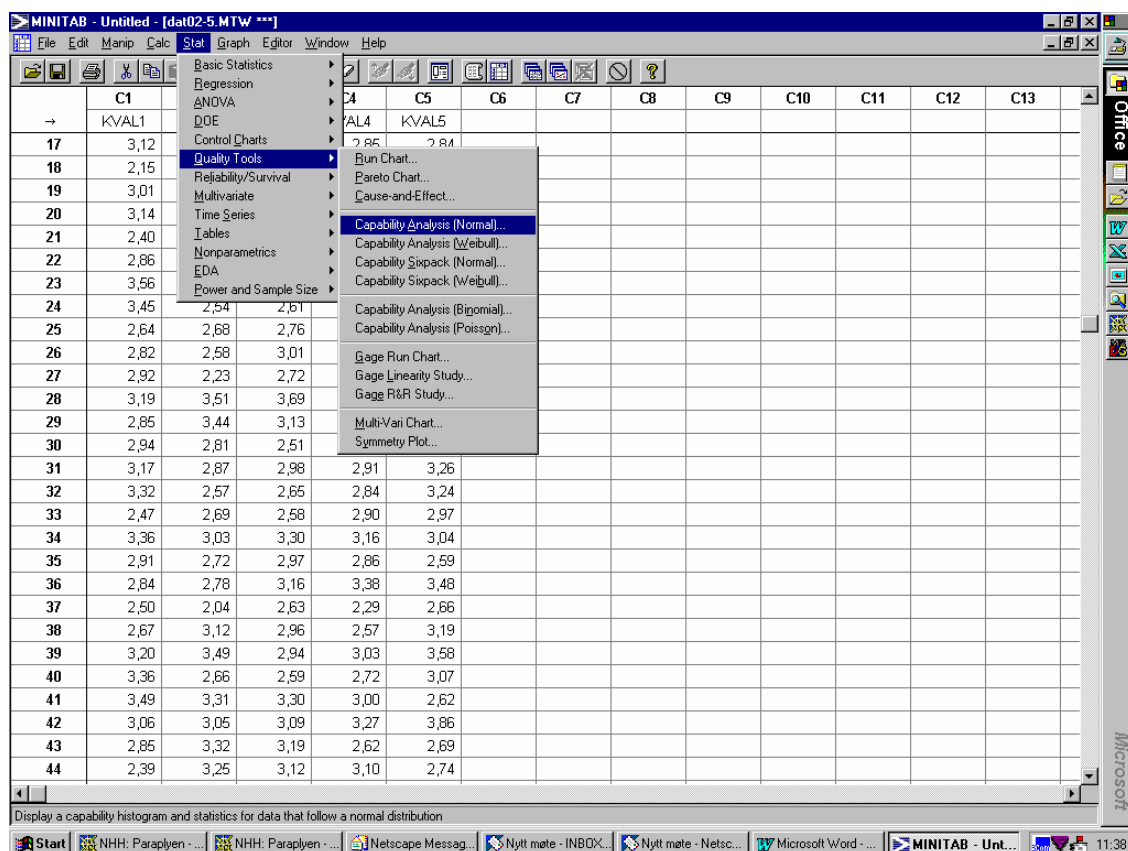


Hvis en isteden velger Xbar-R på menyen får en et tilsvarende panel som etter utfylling gir følgende kombinasjonsdiagram

Xbar/R Chart for KVAL1-KVAL5



Hvis vi på hovedmenyen **Stat** velger **Quality Tools** og deretter **Capability Analysis** som vist nedenfor, får vi en kapabilitetsanalyse.



La oss si at $LSL=2.0$ og $USL=4.0$. Dette er fylt inn i panelet nedenfor. Hvis nominell verdi ikke er midtpunktet mellom LSL og USL , kan en også spesifisere Target.

Den etterfølgende utskrift gir mulighet til å vurdere om prosessen er sentrert, om data er tilnærmet normalfordelt. Her er flere kapabilitetsmål enn det er redegjort for i teksten. Potential Capability måler hva prosessen kan yte relativt til spesifikasjonsgrensene dersom skift og drift av prosessen kan elimineres, mens Overall Capability er hva prosessen virkelig har ytt. En kapabilitetsanalyse foretatt på grupper av observasjoner gir nettopp mulighet for å vurdere korttidsvariasjonen innen grupper opp mot langtidsvariasjon, der nivået muligens fluktuerer noe. I utskriften betyr ST "short term" og LT "long term". Eventuelle forskjeller mellom de to typer mål gir uttrykk for en forbedringsmulighet.

Merk imidlertid at vi har syndet ved å foreta en kapabilitetsanalyse på en prosess ute av kontroll med to punkter utenfor kontrollinjene. En analyse bør først foretas etter at (årsakene til) disse er fjernet, og nye målinger plottet i et kontrolldiagram ikke gir grunnlag for å anta prosessen er ute av kontroll.

Capability Analysis (Normal Distribution)

Data are arranged as

Single column:

Subgroup size:

(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

KVAL1 KVAL2 KVAL3 KVAL4 KVAL5

Lower spec: Hard limit

Upper spec: Hard limit

Historical mean: (optional)

Historical sigma: (optional)

Select

Help

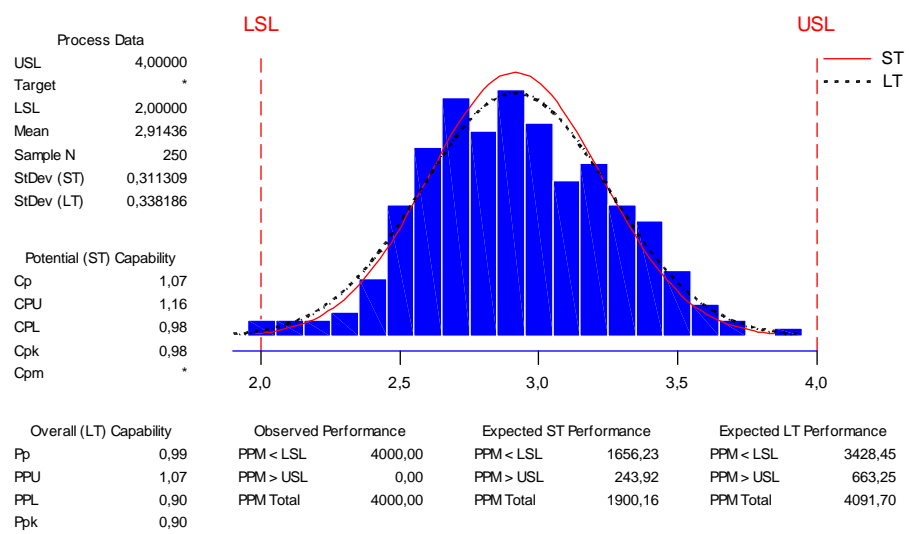
Estimate...

Options...

OK

Cancel

Process Capability Analysis for KVAL1 - KVAL5



18. Formler

Empiriske mål

Gjennomsnitt $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

Empisk varians $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X} \right)$

Empirisk standardavvik $S = \sqrt{S^2}$

Variasjonsbredde $R = X_{\max} - X_{\min}$

Statistisk teori

Antakelse: X_1, X_2, \dots, X_n uavhengige fra samme sannsynlighetsfordeling med forventning μ og standardavvik σ

Da er (velkjent):

$$E\bar{X} = \mu \quad \sigma(\bar{X}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$ES^2 = \sigma^2$$

Hvis fordelingen er normal $N(\mu, \sigma)$ er (mindre kjent):

$$ES = c_4 \cdot \sigma \quad \sigma(S) = (1 - c_4^2) \cdot \sigma$$

$$ER = d_2 \cdot \sigma \quad \sigma(R) = d_3 \cdot \sigma$$

der d_2, d_3 og c_4 er tabellerte konstanter, avhengige av n .

Vi observerer m grupper med n observasjoner i hver.

Plottepunkter: \bar{X}_j og R_i (evt. S_i) $1 = 1, 2, \dots, m$

Estimator for σ : \bar{R}/d_2 (evt. \bar{S}/c_4)

Kontrollgrenser for \bar{X} : teoretisk praktisk

$$\mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R} \quad \text{der} \quad A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$\text{evt. } \bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{S} \quad \text{der} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}$$

Kontrollgrenser for R : teoretisk praktisk

$$(d_2 \pm 3d_3)\sigma \quad \left\{ \begin{array}{l} D_4 \cdot \bar{R} \\ D_3 \cdot \bar{R} \end{array} \right. \quad \text{der} \quad D_4 = 1 + \frac{3d_3}{d_2}$$

$$\text{der} \quad D_3 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}$$

Kontrollgrenser for S : tilsvarende $\left\{ \begin{array}{l} B_4 \cdot \bar{S} \\ B_3 \cdot \bar{S} \end{array} \right. \quad \text{der} \quad B_4 = 1 + \frac{3d_3}{c_4}$

$$\text{der} \quad B_3 = 1 - \frac{3d_3}{c_4}$$

19. Litteratur

- A.I.A.G. Statistical Process Control (SPC)
QS9000 manual
- ISO ISO 8258.
Statistical Methods for Quality Control vol.2
Measurement methods and results. Interpretation of statistical data.
Process control
International Organization for Standardization 1995.
- Johnson, L.T. & Tisell, J. En dugligare tilverkning.
Studentlitteratur Lund 1989
- Logothetis, N. Managing for Total Quality.
From Deming to Taguchi and SPC.
Prentice Hall 1992.
- Montgomery, D.C. Introduction to Statistical Quality Control.
Wiley 1991.
- Wheeler, D.J. Understanding Variation: The key to managing chaos.
SPC Press.
- Wheeler, D.J. & Chambers, D.S. Understanding Statistical Process Control,
SPC Press 1992.
- Wheeler, D.J. Advanced Topics in Statistical Process Control
SPC Press 1995.