ETENEMISSUUNNITELMANA LEAN SIX SIGMA JATKUVAN PARANTAMISEN STRATEGIOIHIN

Edellisessä artikkelissamme käsiteltiin Lean ja TPS-toimintastrategioita ja niiden avainelementtejä. Totesimme mm., että Lean -menetelmää tulisi käyttää laajasti kaikissa organisaation osissa, eikä vain keskittyä tiettyihin prosesseihin ja työkaluihin. Kyseessä ei ole ainoastaan kokoelma ns. ”Best Practises” -työkaluja, vaan olennainen osa asiakasarvon kasvattamiseen ja jatkuvaan parantamiseen keskittyvää kulttuuria.

Lean-menetelmien implementoinnissa keskeisessä asemassa on laaja-alainen työntekijöiden osallistuminen ja sitoutuminen prosessien kehittämiseen, sekä tehokkuuden parantamiseen. Resurssitehokkuuden sijasta fokus on virtauksen parantamisessa, joka taas liittyy keskeisesti prosessien hukan vähentämiseen, prosessien asteittaiseen parantamiseen, sekä työmenetelmien ja muiden hyödyllisten käytäntöjen standardointiin. Analyysin kohteena olevat prosessit määritellään niiden virtausyksikölle tuottaman asiakasarvon lisäyksen sekä virtaustehokkuuden näkökulmasta.

Totesimme myös, että johtajan toimenkuva muuttuu enemmän valmentavaan ja mentoroivaan suuntaan: keskustellaan ja opetellaan yhdessä analyyttistä ajattelua, sekä ymmärretään oppiminen merkittävänä osana työntekoa ja organisoidutaan siten, että kaikilla on mahdollisuus oppia ja kehittyä joka päivä. Strategisella tasolla näissä menetelmissä on kyse arvon ymmärtämisestä ja sen uudelleen määrittelemistä (mielellään yhteistyössä asiakkaan kanssa); toiminnallisella tasolla kyse on hukan karsimisesta laadullisten ja toiminnallisten menetelmien avulla. Siitä huolimatta, että päätöksentekoprosessi ja vastuut ovat selkeästi määritelty ja jaettu, tilanne sidonnainen johtajuus mahdollistaa sen, että kaikki työyhteisön jäsenet voivat hyödyntää asiantuntemustaan parhaalla mahdollisella tavalla yhteisten päämäärien tavoittelemiseksi.

Nyt lukemassasi Lean ja TPS case:n artikkelin jatko-osassa perehdytään laadunhallintaan tilastollisten keinojen avulla, eli soveltaen Six Sigma -työkaluja sekä tilastollista prosessinohjausta (SPC). Nämä laadunhallinnan menetelmät ja työkalut, yhdistettynä Lean Manufacturing/Management käytäntöihin, tunnetaan nykyisin nimellä Lean Six Sigma. Six Sigma tarjoaa käytännöllisen ja tieteellisen arviointikeinon, jolla voidaan verrata prosessien, tuotteiden ja palveluiden laatutasoa toisiinsa. Laatua kuvataan Sigma-tasoina. Korkein niistä – eli nimensä mukainen Six Sigma -taso – korreloi laatutavoitteeseen, joka on erittäin lähellä nolla-virhettä (ns. zero defect). Six Sigmassa, kuten Lean -menetelmissäkin, on erittäin tärkeätä analysoida ja ymmärtää nykyistä suoritustasoa – muutoin kehittäminen ei onnistu.

Six Sigma -menetelmä on monipuolinen ja tehokas työkalu, jossa tilastollisilla ja jatkuvan parantamisen menetelmillä (esim. DMAIC, vuokaavio, histogrammit, hajontadiagrammit, FMEA-analyysi) ja prosessidatalla on merkittävä asema. Sigma (σ) on kreikkalaisen kirjaimiston 18. kirjain ja tilastollisesti ymmärrettynä tulee jakauman hajonnasta, jossa virheitä kuvaavien jakaumien hajonnan pienuus on (asiakkaan kokemaa) laatua.

Laadunvalvonnan työkalujen käyttöprosessi

DMAIC eli määrittely, mittaus, analysointi, parannus ja ohjaus -prosessi:
1. Ongelman identifiointi
2. Datan kerääminen
3. Tietomassan analysointi ja jaottelu
4. Ongelmien syiden selvittäminen
5. Ratkaisun kehittäminen ja toteutus
6. Toiminnan jatkuva valvonta ja kehittäminen

Six Sigma -prosessissa tuotteen jokaiselle kriittiselle laatuominaisuudelle lasketaan suoritusarvo asiakkaan määrittämää toleranssia eli asiakasspesifikaatiota vastaan. Tavoitteena on saada palvelu-, tuote tai tapahtumaprosessi kohti tavoitearvoa niin, ettei toleranssin eli asiakasspesifikaation ylittävien tuotteiden määrä ole liian suuri. Tässä on tärkeätä huomioida, että Six Sigma menetelmä ei tuo analyyttistä viitekehystä ja työkaluja vain ja ainoastaan kone- ja prosessitoimintoihin, vaan sitä voidaan menestyksekkäästi soveltaa myös palveluprosesseihin, esim. asiakaspalvelun analysointiin. Six Sigmalla analysoitavia kohteita voisi olla esim. asiakastyytyväisyys ja asiakaskokemuksen laatu.

Tilastotieteen eri tekniikoita käytetään hyväksi analysoidessa kerättyä dataa mittausvaiheessa. Saadaan aikaan kuvaajia, johtopäätöksiä tai päätelmiä suuremmasta ryhmästä ja tunnuslukuja saatavilla olevasta materiaalista. Sigma-arvojen avulla voidaan määrittää prosessin perustaso tai vertailla prosesseja. Kyvykkyysindeksejä voidaan käyttää ennustamaan prosessin suorituskykyä, joihin yhdistetyillä visuaalisilla analyyseillä/elementeillä voidaan tehokkaasti tarkastella prosessin avainmuuttujia, niissä esiintyvää vaihtelua ja identifioida juurisyitä ongelmiin (esim. yhdessä Pareto-mallien kanssa).

Six Sigman käyttäminen tuotevariaatioiden mittaamisessa voidaan ajoittaa 1920-luvulle, jolloin Walter Shewhart näytti, että kolmen sigman erotus keskiarvosta on se piste, minkä jälkeen prosessi vaatii korjaustoimenpiteitä. Itse Six Sigma -teorian perustajana voidaan pitää Motorolan insinööriä Bill Smithiä. 1980-luvulla Motorolan insinöörit päättivät, että tuotevariaatioiden laatutasoa tulee muuttaa: vanhan laatutason mittayksikkö oli virheelliset tuotteet tuhannesta mahdollisuudesta, joka ei antanut tarpeeksi kattavaa ja tarkkaa kuvaa prosessista ja sen laatutasosta. Tämän sijaan he halusivat mitata viallisten tuotteiden osuuden miljoonasta mahdollisuudesta (DPMO).

Käytännössä, jos näytteitä on paljon, näyte-erien keskiarvot ovat aina paremmin normaalijakautuneita kuin yksittäisten näytteiden arvot. Keskihajonnalla tarkoitetaan datasta kerättyjen havaintojen keskimääräistä poikkeamista keskiarvosta. Mitä korkeampi sigma-arvo on, sitä vähemmän havainnot eroavat keskiarvosta.

Sigma level	Sigma (with 1.5σ shift)	DPMO	Percent defective	Percentage yield	Short-term C_{pk}	Long-term C_{pk}
1	−0.5	691,462	69%	31%	0.33	−0.17
2	0.5	308,538	31%	69%	0.67	0.17
3	1.5	66,807	6.7%	93.3%	1.00	0.5
4	2.5	6,210	0.62%	99.38%	1.33	0.83
5	3.5	233	0.023%	99.977%	1.67	1.17
6	**4.5**	**3.4**	**0.00034%**	**99.99966%**	**2.00**	**1.5**
7	5.5	0.019	0.0000019%	99.9999981%	2.33	1.83

Sigma-tasoja on yhteensä kuusi. 1. tason ollessa heikoin ja 6. tason ollessa vahvin. Esimerkki 1. tasossa viallisia tuotteita miljoonasta on 691,462 kappaletta eli viallisia tuotteita on prosentuaalisesti 69 %. Esimerkkinä voidaan käyttää hitsaavaa yritystä, joka tekee 30,000 tuotetta vuodessa. Jokaisessa tuotteessa on 5 hitsattavaa saumaa. Vuodessa sisäisiä ja ulkoisia hitsaukseen liittyviä virheitä ilmenee 2600 kpl:ta.

Virheelliset kappaleet yksikköä kohti (DPU): Tarkasteltavan erän kokonaisviat jaettuna yksiköiden kokonaismäärällä. Esimerkiksi, jos analysoidaan 30,000 yksikköä ja havaitsimme 2600 vikaa, DPU olisi seuraava:

Virheellisiä kappaleita (DPU): 0.087

Viat mahdollisuutta kohden (DPO): Näytteen kokonaisviat jaettuna mahdollisten vikojen kokonaismäärällä. Esimerkiksi, jos otamme näytteitä 30,000 yksiköstä ja löysimme 2600 vikaa, joissa on 5 vikamahdollisuutta yksikköä kohti, DPO olisi seuraava:

Viat mahdollisuutta kohden (DPO): 1.733%

Viat miljoonaa mahdollisuutta kohden (DPMO): Näytteen kokonaisviat jaettuna kokonaisvirhemahdollisuuksilla kerrottuna miljoonalla. Esimerkiksi, jos otamme näytteitä 30,000 yksiköstä ja löysimme 2600 virhettä, joissa on 5 virhemahdollisuutta yksikköä kohti, ja kerrotaan tämä luku miljoonalla, DPMO olisi seuraava:

Vikoja miljoonaa mahdollisuutta koskien (DPMO): 17333.333

Saanto (Yield): Prosessin prosenttimäärä, jossa ei ole virheitä. Prosessisaannon laskemiseksi käytämme seuraavaa kaavaa
Saanto (%) = (1 − DPO) × 100 eli Saanto esimerkkitapauksessamme 98.267%.

Prosessin saavuttama Sigma-taso: 3.612σ

Osana päätöksentekoprosessia valitaan tieteellisesti otos muuttujan arvoista. Otoksen tiedoista tehdään sitten yhteenveto niiden merkityksellisten suureiden perusteella: keskiarvo, moodi, mediaani, prosenttipisteet ja keskihajonta, jne. Tärkeä tilastollinen käsite on variaatio muuttujan arvojen jakautumisessa. Vakiopoikkeama ja variaatiokerroin ovat muuttuvuuden kaksi yleistä mittaa.

Tietojoukon prosenttiosuudet on luokiteltu prosentteina. Kvartiilit jakavat suuruusjärjestykseen järjestetyn aineiston osiin. Mediaani on 50. prosenttipiste. 0. prosenttipiste on pienin luku ja 100. prosenttipiste on suurin tietokokonaisuuden luku. 25. ja 75. prosenttipisteitä kutsutaan ala- ja ylemmiksi kvartaaleiksi vastaavasti. Tietojoukon mediaani on arvo, jonka ala- ja yläpuolella on 50% tiedoista. Tyyppiarvo on datajoukon yleisimmin esiintyvä arvo.

Tarkastellaan satunnaista otosta x1, x2, ..., xn muuttujalla X ja sen keskiarvoa $x = \Sigma xi / n$. Missä määrin näytteen arvot poikkeavat sen keskiarvosta x? Tämän variaation mittausta kutsutaan näytteen keskihajonnaksi. Sitä merkitään kirjaimella s. Muuttujan populaation keskihajonta on merkitty σ: lla. Jälleen tilastollisessa kielessä σ on parametri ja s on tilasto, jota voidaan käyttää arvioimaan σ. Laskennan s lauseke on $s = \sqrt{(\Sigma (x - x) 2 / n-1}$.

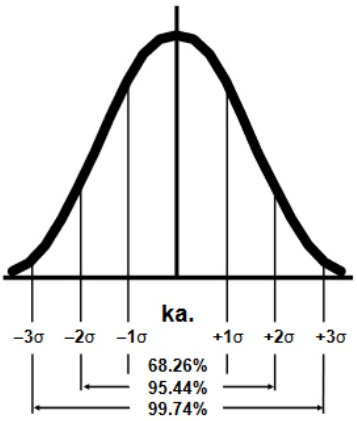
Variaatiokerroin (lyhennetään CV) on tilastollinen hajontaluku, joka on hyödyllinen tietyissä jatkuvien muuttujien tilastovertailuissa, esim. palkkoja vertailtaessa, kun halutaan ottaa lukuun palkkojen tasoerot. Määritelmän mukaan se tarkoittaa keskiarvoon suhteutettua hajontaa (100*hajonta/keskiarvo), toisin sanoen keskiarvon vaikutus hajontaan skaalataan pois. Variaatiokerroin ei kuitenkaan sovi binomijakaumaa noudattavien tunnuslukujen vertailuun, koska binomijakauman tapauksessa todennäköisyysparametri p ei skaalaudu pois, vaan vaikuttaa cv:n arvoon. Toisin sanoen näytteen $CV = (S / x)$ 100% ja populaation $CV = (\sigma / \mu)$ 100%.

Z.st = Z.lt + 1.5
Z.lt = Z.st – 1.5.

Tasaamalla normaalijakauma 1,5-keskihajonnalla kummallakin puolella pystymme keinotekoisesti huomioimaan pitkäaikaisen prosessin varianssin vaikutusta, lisäämällä kyseisen variaation kyvykkyysarvioomme. Pitkäaikainen tieto puolestaan sisältää yleiset vaihtelut ja erityiset (tai määritettävissä olevat) syiden vaihtelut, eli mitä tapahtuu jokaiselle prosessille monien valmistusvaiheiden aikana. Koska lyhytaikainen data ei sisällä tätä erityisen syyn variaatiota, sillä on tyypillisesti korkeampi prosessointikyky kuin pitkäaikaisella datalla. Tämä ero on 1,5 sigman muutos. Sen avulla voimme suunnitella tuotteita ja palveluita, jotka ovat suhteellisen läpäisemättömiä tai "kestäviä" luonnollisille, väistämättömille prosessien, komponenttien ja materiaalien variaatiolähteille.

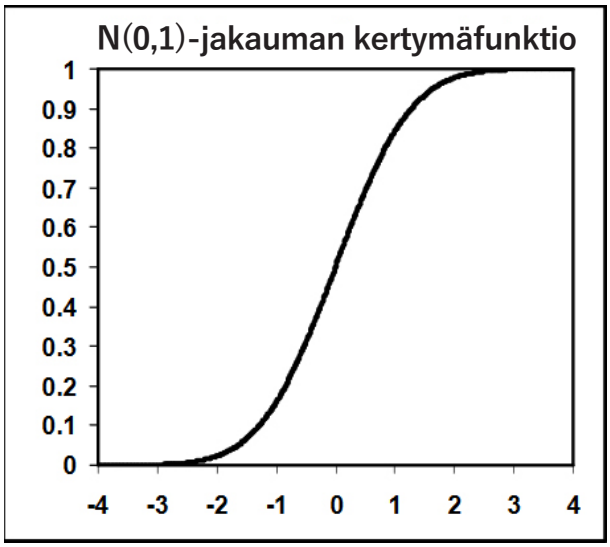
Valvonnan tavoitteena varmistaa, että prosessit toimivat suunnitelmien mukaisesti. Prosessinaikaista laatua valvotaan tilastollisestiprosessista otettujen otosten perusteella (SPC). Prosessin katsotaan olevan kontrollissa, kun siinä on ainoastaan satunnaista vaihtelua (vaihtelua ei voida täysin koskaan poistaa). Satunnainen vaihtelu ilmenee otoksien arvojen osumisena kontrollikarttojen rajojen sisäpuolelle: kontrollirajat asetetaan yleensä ±3 keskihajonnan päähän keskiarvosta (saadaan johtopäätöksille sopiva luottamustaso). Gaussin käyrän korkeus ja leveys riippuu keskihajonnasta.

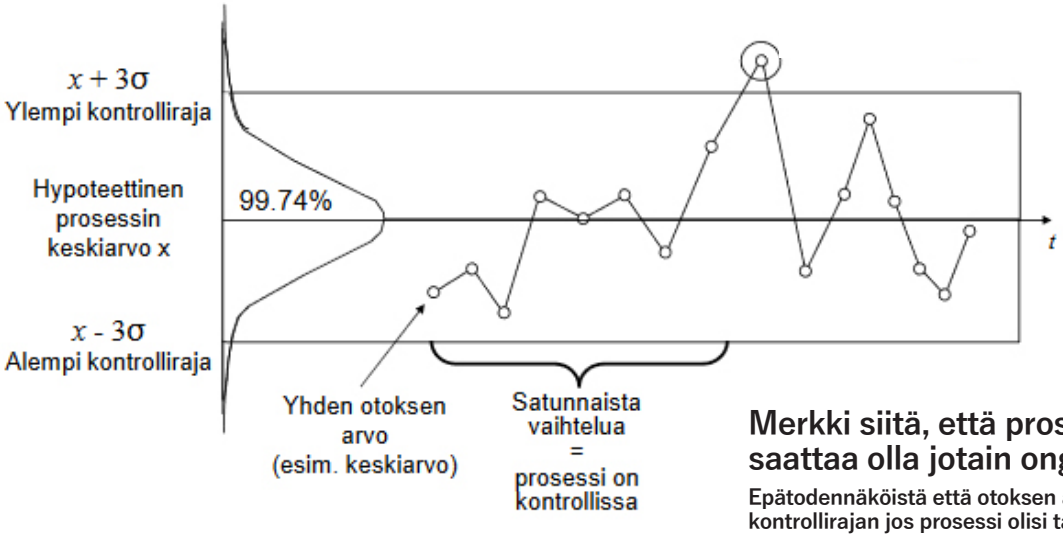
Tilastollisessa päättelyssä tarkasteltavan tapahtuman jakauma oletetaan joksikin, mutta oletukselle on oltava empiiristä tukea. Useimpien prosessien tuotokset seuraavat lähes normaalijakaumaa. Yleisesti voidaan sanoa, että muuttujat, joiden arvo määräytyy monen eri tekijän vaikutuksesta noudattavat normaalijakaumaa. Syy tähän on teoria, jota kutsutaan keskeiseksi raja-arvolauseeksi. Keskeinen raja-arvolause sanoo, että toisistaan riippumattomien satunnaisvirheiden summa noudattaa likimain normaalijakaumaa niin, että mitä enemmän satunnaismuuttujia on, sitä vähemmän summan jakauma poikkeaa normaalijakaumasta, kuitenkin niin, että satunnaismuuttujien hajonnat ovat samaa suuruusluokkaa. Satunnaismuuttujien jakaumien muodolla ei sen sijaan ole merkitystä. Käytännössä kaikkiin tapahtumiin, kuten mittauksiin ja prosesseihin, vaikuttaa aina useita eri satunnaismuuttujia. Esimerkkejä tästä mm. mittausvirheet, teollisesti valmistettujen tuotteiden ominaisuudet, ihmisten fyysiset ominaisuudet, sijoitusten tuotot jne.



Normaalijakauma laadunvalvonnan pohjana

- **Suurin osa arvoista keskiarvon ympärillä**
- **99,74 % arvoista ±3 keskihajonnan sisällä**

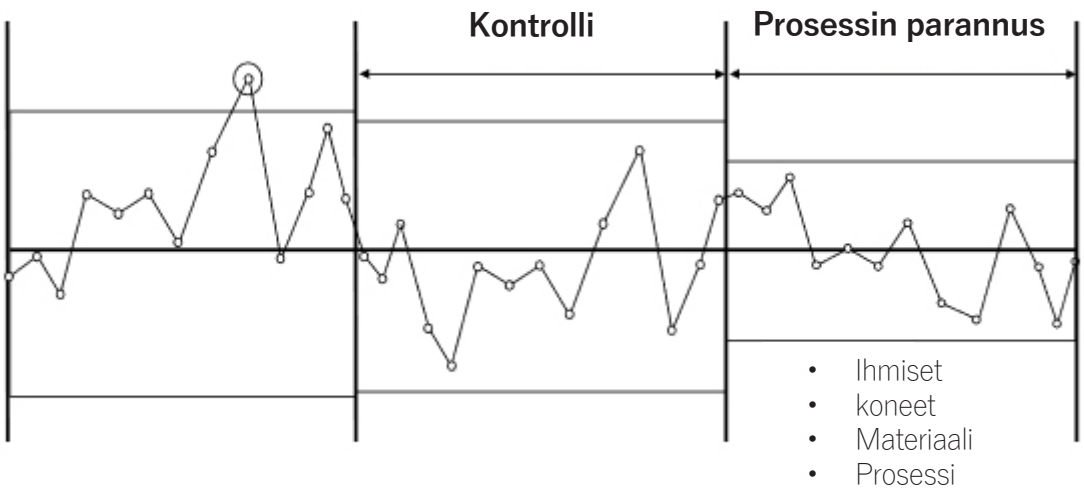




Merkki siitä, että prosessissa saattaa olla jotain ongelmia.

Epätodennäköistä että otoksen arvo ylittäisi kontrollirajan jos prosessi olisi täysin kunnossa.

Prosessin katsotaan olevan hallinnassa, jos kaikki siitä saadut arvot sijoittuvat valvontarajojen sisään eikä niillä ole huomattavissa olevaa suuntausta.



Kyvykkyydellä tarkoitetaan prosessin kykyä vastata haluttuihin tuote-/prosessispesifikaatioihin. Kyvykkyyttä mitataan kyvykkyysindekseillä. Kyvykkyysindeksi mittaa prosessissa esiintyvän variaation laajuutta suhteessa sille määriteltyihin rajoihin. Se auttaa meitä myös vertaamaan erilaisia prosesseja optimaaliseen tilanteeseen tai jos ne vastaavat odotuksiamme. Yleisimmän prosessikykyindeksin antaa Cp, joka on arvio siitä, mitä prosessi pystyy tuottamaan, jos prosessin keskiarvo keskitettäisiin erittelyrajojen väliin olettaen, että prosessin tuotos jakautuu suunnilleen normaalisti.

Valvontarajojen ideana on asettaa ne siten, että prosessin voidaan katsoa olevan hallinnassa, jos kaikki prosessin tuotokset asettuvat näiden rajojen sisään. Valvontarajat sekoitetaan usein tuotteen spesifikaatiorajoihin. UCL (Upper Control Limit) eli suomeksi YOR (Ylä Ohjaus Raja) ja LCL (Lower Control Limit) eli (Ala Ohjaus Raja) määritellään prosessista kerätystä tiedosta. Kokemusperäisesti sopiviksi rajoiksi on määritelty niin sanotut kolmen sigman rajat. Valvontarajat lasketaan prosessin keskiarvosta. Ylempi valvontaraja on keskiarvo plus kolme kertaa keskihajonta. Alempi valvontaraja on keskiarvo miinus kolme kertaa keskihajonta. Nämä rajat ovat valvontakorteissa yleisimmin käytetyt rajat. Normaalisti jakautunut satunnaismuuttuja osuu rajojen sisään 99,73 %:n todennäköisyydellä.

Tämän lisäksi määritellään Ylätoleranssiraja = USL (Upper Specification Limit) sekä Alatoleranssiraja = LSL (Lower Specification Limit). Spesifikaatiossa on siis tuotteelle määritelty ylä- ja alaraja, jonka ylittävä tai alittava tuote on hylättävä tai muuten erikseen tarkasteltava ennen hyväksymistä.

Lean Six Sigmassa prosessin suorituskyvyn määritys on kekseistä ja liittyy mittaus-, analyysi- ja parannusvaiheisiin. Prosessin suorituskyky ilmaistaan erilaisin indeksein, joista yleisimpiä ovat Cp, Cpk -indeksit (Capability) ja Pp, Ppk-indeksit (Performance). Cp-indeksillä verrataan prosessin hajontaa toleranssialueeseen, mutta keskiarvon sijaintia ei oteta huomioon. Cpk -indeksiä käytettäessä voidaan ottaa huomioon myös keskiarvon sijainti eli jakauman sijainti toleranssialueeseen nähden.

Cp kertoo kyvykkyyden, mikäli prosessi olisi täysin keskitetty. Se saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

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

Prosessikyvykkyys indeksi (Cpk) edustaa prosessin kykyä, kun prosessia siirretään 1,5 sigmalla (pitkäaikaisesti). Cpk käyttää arvioitua keskihajontaa ja kertoo prosessin tämänhetkisen kyvykkyyden:

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\overline{X} - LTL}{3\sigma}, \frac{UTL - \overline{X}}{3\sigma}\right)$$

Kun lasketaan Cp ja Cpk, on välttämätöntä käyttää lyhytaikaista keskihajontaa (short-term standard deviation). Tämä varmistaa, että annettu kykyindeksi raportoi tutkittavan prosessin välittömästä toistettavuudesta. Lyhyen tähtäimen keskihajonta saadaan laskettua seuraavasti:

$$\sigma_{ST} = \frac{\bar{R}}{1.128}$$

Kun tarkastelujaksossa siirrytään lyhyesti aikajänteestä pitkälle aikavälille, myös virhealttius muuttuu, eli tarkasteluun ilmaantuu erilaisia muuttujia kuin lyhyellä tarkastelujänteellä. Tätä ilmiötä voidaan kutsua ajelehtivaksi prosessiksi, eli mittaustulosten keskiarvo liukuu ja huojuu pitkällä aikavälillä prosessista itsestään johtuvista syistä. Tyypillinen syy ajelehtimiseen on ilman kosteus tai lämpötila. Nämä vaikuttavat sitten materiaalin ominaisuuksiin, tuotteen kuivumiseen ja kitkoihin. Jotta prosessin ”kestävä” tai jatkuva (pitkän seurantajakson) toistettavuus voidaan arvioida, on käytettävä pitkäaikaista keskihajontaa (long-term standard deviation), joka saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$s_{long} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

Maksimitoimintakykyluku Pp kuvaa maksimisuorituskykyluvun tavoin sitä, mihin prosessi vaatimukseen nähden teoriassa pystyy:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot s_{long}}$$

Ppk eli Performance index on tunnusluku, jonka laskennassa käytetään kaikki käytettävissä olevat tulokset. Tuloksista ei ole poistettu erityissyitä tai muita vastaavia tilanteita:

$$P_{pk} = \min\left(\frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3 \cdot s_{long}}; \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3 \cdot s_{long}}\right)$$

Coefficient of Determination = r^2

$$r = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{\left[n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2\right]\left[n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2\right]}}$$

Regressioanalyysin avulla tutkitaan yhden tai useamman selittävän muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan, sekä ko. vaikutuksen suuruutta. Näin ollen se soveltuu kausaalisuhteiden tutkimukseen. R^2-luku on regressiomallin selitysosuus. R^2-luku kertoo kuinka suuren osuuden selitettävän muuttujan vaihtelusta selittävä muuttuja selittää. R^2-luku vaihtelee nollan ja yhden välillä. Se saadaan laskemalla selitettävän muuttujan arvojen ja mallin tuottamien ennustearvojen korrelaation neliö. Jos R^2-luku on pieni regression selittävät muuttujan pystyvät selittämään vain vähän selitettävän muuttujan vaihtelusta ja päinvastoin. Esim. koulutuksen ja palkkauksen yhteys.

Esimerkki 2, Six Sigma menetelmän käytöstä elintarviketuotannossa: Ulkomainen asiakkaan ostaja on määrittänyt yksittäin myytävien rouhesämpylöiden toleranssi-/spesifikaatiorajoiksi 88 grammaa ja 112 grammaa. Kun tuotantolaitoksen valmistuslinjasto tuottaa tällä hetkellä keskimäärin 104 gramman painoisia sämpylöitä ja painojen keskihajonta on 4 grammaa, niin miten analysoitaisiin tehtaan kykyä vastata ostajan 5-sigman laatutavoitteeseen (eli Cpk vähintään 1,67 ja vähintään 99,9999% sämpylöistä vaatimuksen mukaisia)? Miten tilanne muuttuisi, jos sämpylöiden keskihajonta onnistuttaisiin pudottamaan 2 grammaan?

case σ = 4

$$^{x)}C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{X} - LTL}{3\sigma}, \frac{UTL - \bar{X}}{3\sigma}\right) = \min\left(\frac{104 - 88}{3*4}, \frac{112 - 104}{3*4}\right) = 0{,}67 \quad \text{(2-sigman laatua)}$$

$$^{y)}C_p = \frac{UTL - LTL}{6\sigma} = \frac{112 - 88}{6*4} = 1{,}00 \quad \text{(3-sigman laatua)}$$

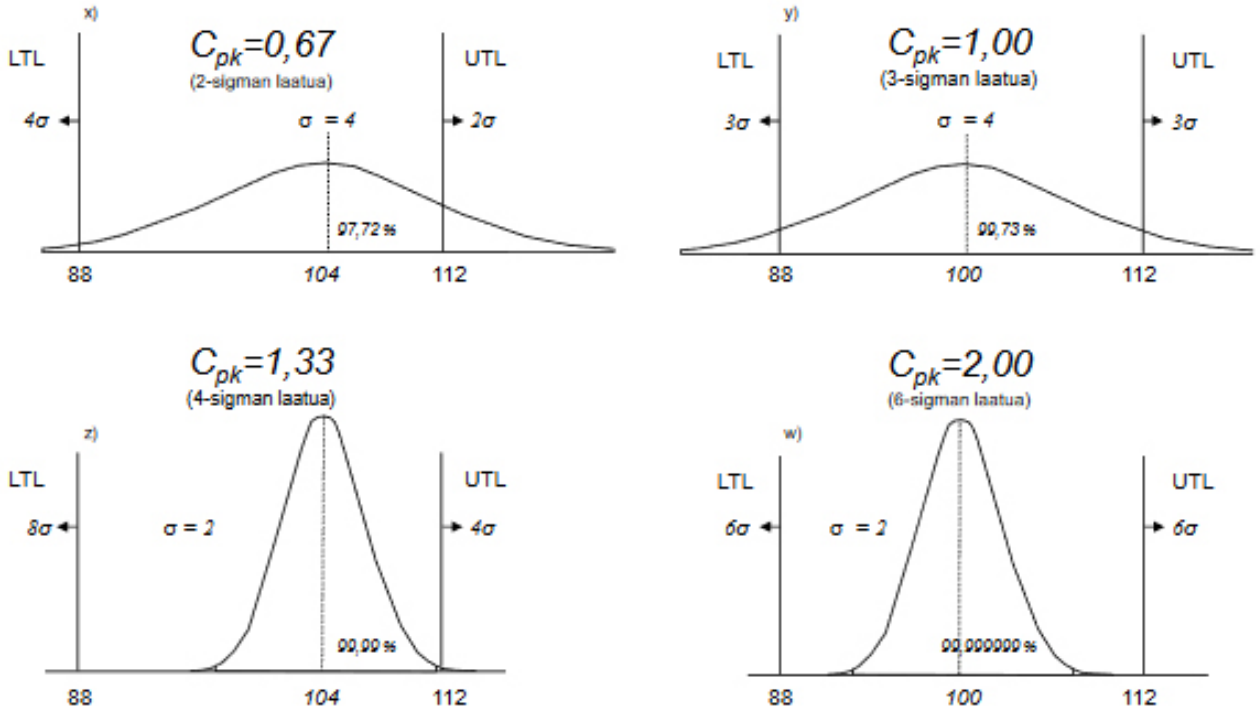
Prosessi ei ole kyvykäs (C_{pk}), eikä olisi sitä edes keskitettynä (C_p)!

case σ = 2

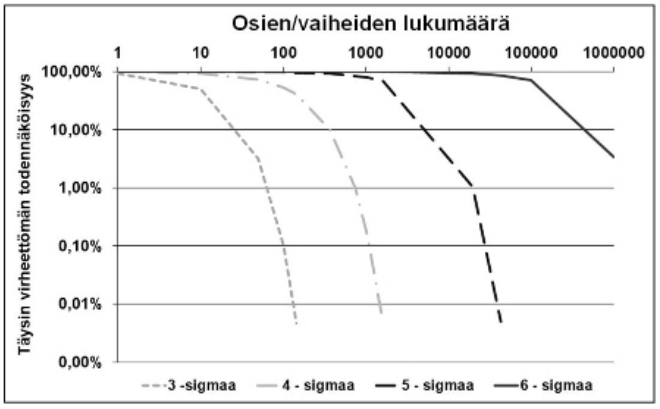
$$^{z)}C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{X} - LTL}{3\sigma}, \frac{UTL - \bar{X}}{3\sigma}\right) = \min\left(\frac{104 - 88}{3*2}, \frac{112 - 104}{3*2}\right) = 1{,}33 \quad \text{(4-sigman laatua)}$$

$$^{w)}C_p = \frac{UTL - LTL}{6\sigma} = \frac{112 - 88}{6*2} = 2{,}00 \quad \text{(6-sigman laatua)}$$

Prosessi ei ole kyvykäs (C_{pk}), mutta keskitettynä (C_p) olisi (eli pystyisi vastaamaan ostajan vaatimuksiin!)



Osien/vaiheiden lukumäärä	Yksittäisen osan/vaiheen laatutaso			
	3 -sigmaa	4 - sigmaa	5 - sigmaa	6 - sigmaa
1	93,32%	99,38%	99,98%	100,00%
10	50,08%	93,96%	99,77%	100,00%
50	3,15%	73,24%	98,84%	99,98%
100	0,10%	53,64%	97,70%	99,97%
144	0,00 %	40,78%	96,71%	99,95%
369		10,04%	91,77%	99,87%
740		1,00%	84,18%	99,75%
1044		0,15%	78,44%	99,65%
1590		0,00 %	69,08%	99,46%
19581	*Todennäköisyyksiä, että*		1,05%	93,56%
42559	*kokonaisuus olisi täysin*		0,01 %	86,54%
100000	*virheetön…*			71,19%
1000000	*(1,5 sigman siirtymä huomioitu)*			3,35%



Eli kun osien/vaiheiden lukumäärä tuotteessa/prosessissa kasvaa, olisi erittäin hyödyllistä, että jokainen yksittäinen osa/vaihe olisi suurella todennäköisyydellä ”hyvä”, jotta tuote/prosessi olisi täysin virheetön/ongelmaton/toimisi/täyttäisi spesifikaatiot. Ongelmat siis kumuloituvat osien ja/tai vaiheiden lukumäärän funktiona ja asettavat näin ollen myös progressiivisesti ”kiristyvät” vaatimukset laadunhallinnalle.

Gage R&R kappale:

R&R tulee sanoista repeatability (toistettavuus) ja reproducibility (uusittavuus) ja kyseinen menetelmä on osa mittaussysteemin analyysiä (MSA). Gage R&R menetelmällä voidaan kartoittaa perusvaihtelulähteiden ja tästä satuja tuloksia verrata toleransseihin ja prosessin kokonaisvaihteluun. Toistettavuus kuvaa mittalaitteesta aiheutuvaa vaihtelua, kun operaattori mittaa samalla mittalaitteella samaa kappaletta useampaan kertaan. Uusittavuus puolestaan kuvaa operaattorista aiheutuvaa vaihtelua, kun eri operaattorit mittaavat samaa kappaletta usealla eri mittalaitteella. Kun nämä kaksi tekijä yhdistetään, saadaan R&R. Kuten tilastollisia menetelmiä, sekä prosessin sekä lyhyen että pitkän ajan luonnollista vaihtelua ja keskihajontaa käsittelevässä osiossa havaittiin: todellisuudessa mittauksessa ilmenevää vaihtelua aiheuttaa myös Gage R&R:n kohteena olevien muuttujien ulkopuoliset vaihtelutekijät. Näistä mainittakoon tuotteen oma vaihtelu, materiaalit, ympäristö, valmistusprosessi, mittalaitteiden kalibrointi, yms. Kaikissa mittauksissa esiintyy vaihtelua, mutta jos vaihtelu on liian suurta suhteessa osan toleranssiin (min. 10-20% pienempi suhteessa toleranssiin) tai poikkeamaan, joka on merkittävä, mittaus on silloin liian vaihteleva (epävakaa) sen käyttötarkoitukseen. Kyseinen analyysi on vaatimuksena esim. autoteollisuuden IATF 16949:2016 -standardissa, joka vaatii kaikkien ohjaussuunnitelmaan määriteltyjen mittausten analyysin MSA-manuaalin määrittämien menetelmien avulla.

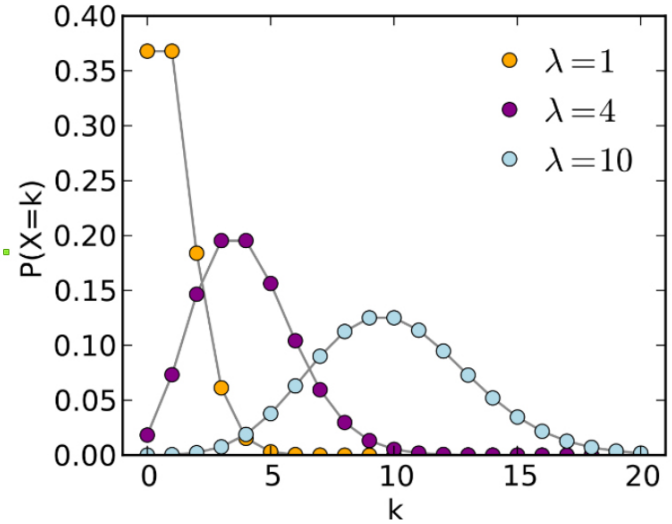
Mittaus toimii prosessin palautelenkin (feedback loop) erittäin kriittisenä osana, joka väärin toimiessaan huonontaa itse prosessia merkittävästi. Usein uskotaan, että mittaus, siis mittaustapahtuma ja mittari, eivät aiheuta ongelmia ja että mittarit/mittaus eivät vaihtele, eli että vaihtelu olisi aina prosessista lähtöisin. Tosiasia kuitenkin on, että mittaus on eräs haasteellisimpia kehittämiskohteita ja monesti luotettavuuden varmentaminen laiminlyödään tavanomaisessa parantamisessa.

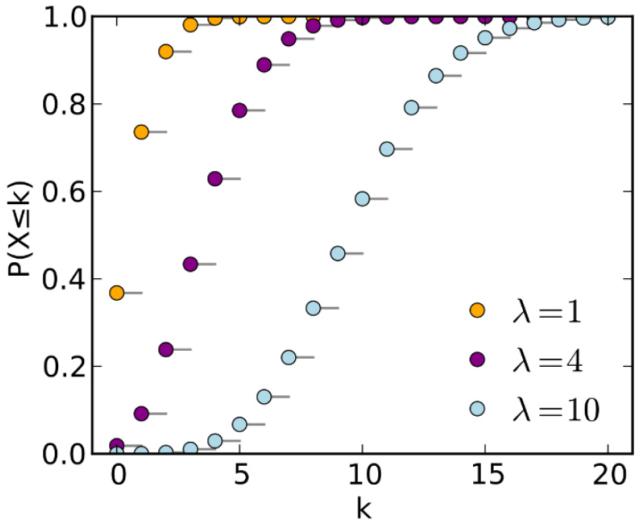
Esimerkki lyhyestä Gage R&R-analyysistä

Mittausten toistomäärä: 5 kertaa							
Mitattavien kappaleiden lukumäärä: 10 kpl							
Koekappale: alumiinilamelli lämmönvaihtimeen							
Kappaleen toleranssi:		0.023	mm				
Mittalaite: mikrometri 1/1000 mm							
Mittaaja No.	**A**	**B**	**C**				
	1. Koe	2. Koe	3. Koe	Ero	Oikea arvo	Mittausvirhe	
1)	9,619	9,619	9,619	0,000	9,619	0,000	
2)	9,612	9,612	9,612	0,000	9,614	-0,002	
3)	9,608	9,608	9,607	0,001	9,610	-0,002	
4)	9,622	9,622	9,623	0,001	9,622	0,000	
5)	9,615	9,616	9,615	0,001	9,615	0,000	
6)	9,611	9,610	9,611	0,001	9,612	-0,001	
7)	9,608	9,609	9,608	0,001	9,611	-0,003	
8)	9,614	9,614	9,613	0,001	9,616	-0,002	
9)	9,615	9,615	9,615	0,000	9,616	-0,001	
10)	9,606	9,606	9,606	0,000	9,608	-0,002	
Yhteensä	96,13	96,131	96,129	0,006			
		96,130	R	0,0006			
		96,129					
	Sum	288,390					
	Xa	9,613	d2 arvo:	1,72			
RR-luku:							
RR=5,15*R/(d2)		0,0018	mm (epävarmuus ilman systemaattisia virheitä)				
RR%=RR/dL*100		7,81	% toleranssista				

Hyvällä mittausjärjestelmällä on erittäin alhainen itse mittauksesta aiheutuva kohina, mieluiten alle 1% kokonaisvaihteluista, ilmoitettuna alle 10%:n Gage R&R:nä. Epävarmassa järjestelmässä on melua välillä 1-9% kokonaisvaihtelevuudesta tai Gage R&R:n välillä 10-30%. Huonossa järjestelmässä melu on yli 9% kokonaisvaihteluista tai Gage R&R saa arvoksi yli 30%.

On myös tilanteita, joissa tavallinen normaalijakauman regressiomalli ei päde. Tämänlainen tilanne arkielämästä voisi olla esim. risteyksessä vuoden aikana sattuvien onnettomuuksien määrä. Teollisuusympäristöstä tällainen tilanne voisi olla matemaattinen mallinnus koskien tuotantoteknologian vaihdosta esim. manuaalinen kokoonpano aiotaan korvata osittaisella automaatiolla. Poisson-jakauma kuvaa harvinaistentapahtumien todennäköisyyksiä pitkissä toistokoesarjoissa.





Ensimmäisessä asteikossa Poissonin-jakauman todennäköisyysfunktio: lambda- arvo kertoo sijainnin ja muodon havaintoaineiston suhteen. Toisessa asteikossa Poissonin-jakauman kumulatiivinen kertymäfunktio. Vaaka-akselilla on indeksi k eli tapahtumien lukumäärä. Kertymäfunktio on epäjatkuva kokonaisluvuilla k ja muualla vaakasuora, koska Poisson-jakautunut muuttuja saa vain kokonaislukuarvoja. Poissonin-jakauman yhteydessä on syytä mainita myös satunnaisuusaste (H) eli laatueroasteikollisten muuttujien hajontaluku. Entropia on yksi termodynamiikan ja tilastollisen mekaniikan perussuureista, epäjärjestyksen aste, mitta sille, kuinka todennäköinen systeemin jokin tila on. Entropia kuvaa kuinka tasaisesti havainnot ovat jakautuneet luokkiin: mitä pienempi entropia on, sitä enemmän havainnot ovat keskittyneet muutamiin luokkiin.

- Entropia vaihtelee 0'n ja $\log_2(k)$'n välillä. (k= luokkien lkm.)

$$H = -\sum_{i=1}^{k} p_i \cdot \log_2(p_i),$$ jossa p_i on luokan i suhteellinen frekvenssi.

- Hieman edellistä parempi hajontamitta on suhteellinen entropia.

$$H_s = \frac{-\sum_{i=1}^{k} p_i \cdot \log_2(p_i)}{\log_2(k)}$$

- Suhteellinen entropia vaihtelee välillä 0 ja 1.

Yhteenvetona:
Tietty vaihtelu on jokaiselle prosessille luonnollista ja se johtuu prosessin eri osien toiminnan tarkkuuden rajallisuudesta sekä prosessiin vaikuttavien tekijöiden luonnollisesta vaihtelusta. Tämän johdosta tuotantoprosesseissa ei valmisteta tuotetta tarkasti nimellismittaan, vaan spesifikaatioiden salliman toleranssialueen keskelle. On myös selvää, että vaihtelua kannattaa systemaattisesta mitata ja pyrkiä kontrolloimaan – mitä aiemmin tämä tapahtuu jalostusketjussa, sitä vähemmän aiheutuu materiaali-, työ- ja pääomahukkaa, sekä joudutaan tekemään korjaavaa työtä. on, sitä korkeammaksi muodostuu kumulatiivisesti nouseva virhemahdollisuus. Matemaattisten ja tilastotieteellisten mallien avulla voidaan ennakoida prosessin käyttäytymistä jo suunnittelu-vaiheessa. Myös palveluprosesseja kannattaa systemaattisesti analysoida ja kehittää tieteellisin menetelmin. Kaikissa suorituskykyisissä prosesseissa normaali vaihtelu mahtuu vaatimuksiin, ja poikkeavien tapausten taustalta löytyy erityissyitä. Erityissyyt tulee tutkia yksittäistapauksina ja poistaa ne tekemättä muita muutoksia prosessiin.