

Proiect

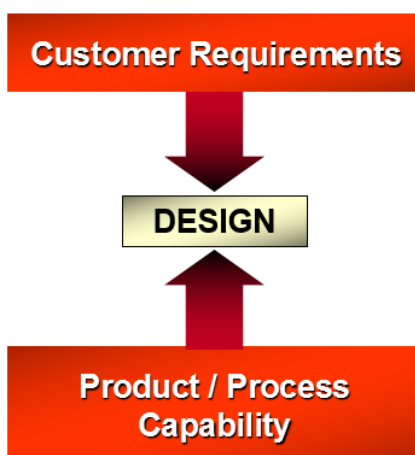
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Analiza propagării variației (intrări - ieșiri) – instrument pentru aducerea unui nou concept / produs la TRL 7-8 încă din laboratorul de cercetare-dezvoltare -studiu de caz (continuare din #17) -

Dr. Nicolae Varachiu, IMT București

Am prezentat în buletinul anterior (#17) în cadrul acestei serii, în articolul „Conceptul / produsul nou adus la TRL 7-8 încă din laborator, pornind de la ambele „capete”: nevoia clientului /utilizatorului și capabilitatea procesului de fabricație -studiu de caz” că elaborarea oricărui concept / produs utilizabil (în industrie, medicina, agricultură, societate în general) în faza de laborator de cercetare-dezvoltare necesită o **abordare „la doua capete”**, pornind de la **nevoia clientului /utilizatorului și de la capabilitatea procesului de fabricație**. Adică să se conformeze abordării din schema de mai jos (tipică de exemplu și metodologiei Design For Six Sigma - DFSS, prezentată în buletinele anterioare):



Blocul central în schema de mai sus, **DESIGN**, desemnează activitatea de bază a unui laborator de cercetare dezvoltare (= locul în care conceptul, produsul nou este creat, elaborat, dezvoltat).

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Dar în cercetarea și dezvoltarea noului concept, produs (reprezentată în blocul DESIGN) trebuie să se țină cont și de:

-*cerințele, specificațiile clientului, utilizatorului, adică ce livrăm*, reprezentat în schema anterioară de blocul de sus, **Customer Requirements**,

-*modul cum va fi fabricat, de specificul tehnologiei utilizate, de așa numita capacitate a proceselor și a produselor / dispozitivelor care vor fi utilizate pentru fabricația curentă* (blocul de jos **Product / Process Capability**).

Pentru ca demersul nostru să fie sistematic, vom relua în acest articol prezentarea succintă a conceptelor de bază necesare, concepte prezentate pe larg în buletinele anterioare, în cadrul acestei serii. Vom reveni la definiția generală a *tehnologiei*, văzută ca un set de *cunoștințe sistematice de fabricare a unui produs sau de acordare a unui serviciu* în industrie, agricultură, comerț, pentru beneficiul societății în general (după World Intellectual Property Organization - WIPO), cunoștințe care îndeplinesc, cumulativ, trei criterii: să fie sistematice, adică bine organizate, în scopul *furnizării de soluții la o anumită problemă*, să existe într-un anumit loc, într-un *înscris* sau în *intelectul unei persoane* și să fie directionate în vederea atingerii unui scop util în industrie, agricultura, comerț sau, în general, în societate. Sumarizăm aceste aspecte în imaginile de mai jos:

Technology*

= systematic knowledge

to fabricate a product

or

to provide a service

in industry, agriculture, health, commerce
the benefit of the society

*definition of WIPO – World Intellectual Property Organization

There are **three criteria*** for the **knowledge** to be included in a technology:

1. must be **systematic**
systematically = well organized for the purpose of providing solutions to a particular problem
2. must be **in a certain place**
in a written form or in a person's intellect
3. must be **directed for achieving a useful purpose**
in industry, agriculture, health, commerce, in the benefit of the society

*from WIPO – World Intellectual Property Organization

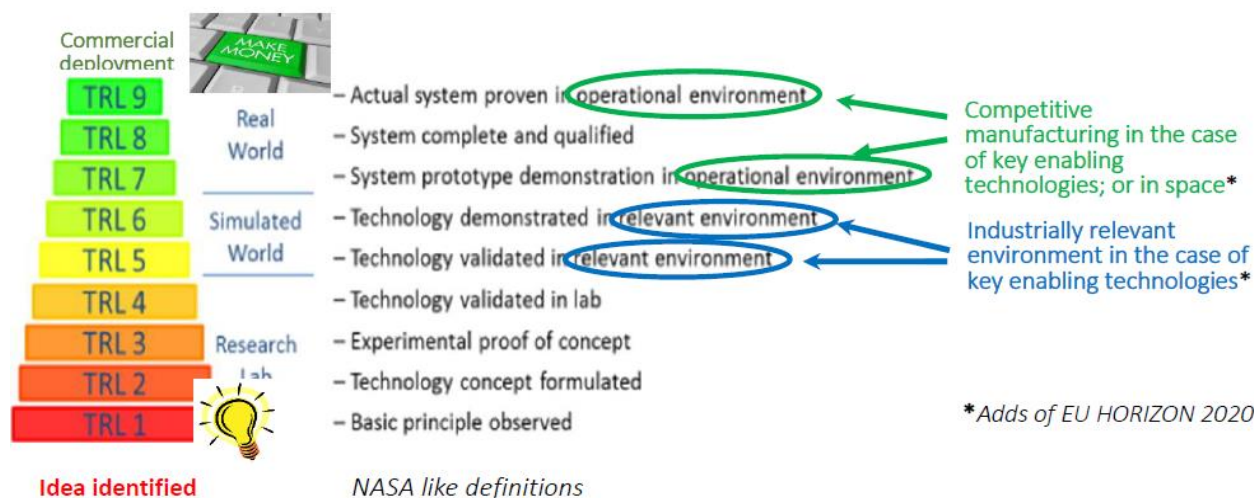


Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

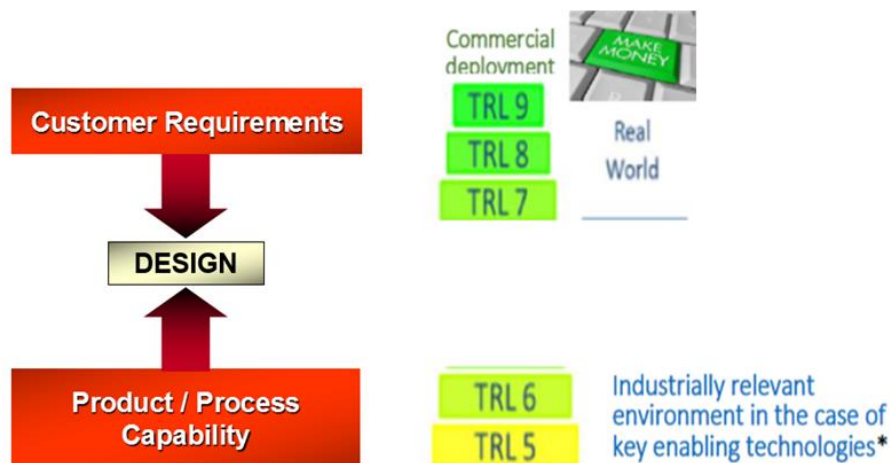
cod SMIS 2014+ 105623

Pentru demersurile următoare reamintim definirea nivelurilor de maturitate tehnologică, Technology Readiness Level (TRL):



În esență, în abordarea „clasică”, rolul laboratorului era în cea mai mare măsură până la TRL 4, în continuare TRL 5-6 corespundeau manufacturabilității în mediul industrial (blocul **Product / Process Capability** în schema din pagina anterioară) iar TRL 7-8, chiar TRL 9 corespund funcționării în mediul operațional, adică corespund blocului **Customer Requirements** din aceeași schemă.

Prezentăm în figura de mai jos asocierea „abordării la doua capete” cu nivelurile TRL corespunzătoare:



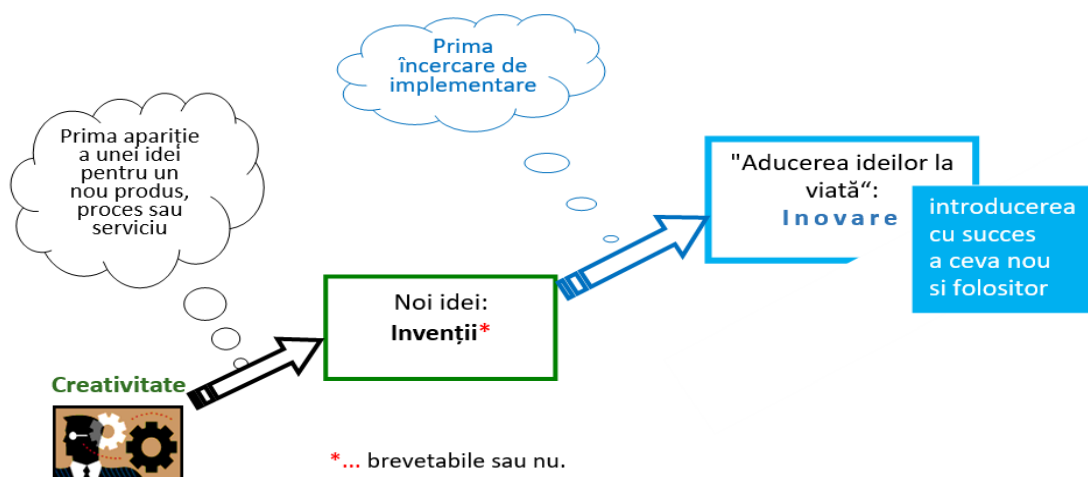
Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

În termeni de TRL, după cum am prezentat în buletinele anterioare ale acestei serii (#9, #10, #12), ajungerea cu un concept la nivelele clasice post-laborator de cercetare-dezvoltare, adică de la TRL 5 în sus, este posibilă în mare măsură încă în faza de dezvoltare din laboratorul de cercetare-dezvoltare, prin considerarea metodelor adecvate de testare și de evaluare a conceptelor propuse. Astfel, în laboratoarele de cercetare-dezvoltare se face inițial un demonstrator („proof of concept”) pentru un nou produs a cărui funcționalitate poate fi demonstrată (cum îi spune și numele) prin realizarea și testarea unui număr limitat de produse, uneori chiar unul singur. Dar, pentru a merge mai departe, la un *transfer tehnologic* urmat de o *inovare* de succes, prin introducerea a ceva nou, folositor, care să aibă efect în societate (pe piață inclusiv), firmele care îl vor fabrica, chiar atelierele proprii de fabricație (micro-producție) ale entităților de cercetare-dezvoltare (institute sau universități) vor adresa întrebări legitime: cat de manufacturabil este conceptul (TRL 5 și 6) și cum se va comporta în condițiile reale de funcționare adică în mediul operațional (TRL 7, 8 chiar 9).

Revenim la lătmotivul acestei serii de prezentări, anume că scopul final al oricărui *transfer tehnologic* este *inovarea*; inovarea înțeleasă tipic ca introducerea cu succes a ceva nou și folositor, cuprinzând *exploatarea cu succes a ideilor noi, introducerea pe piață a ceva nou sau procesul de a face îmbunătățiri prin introducerea a ceva nou*: reluăm mai jos reprezentarea schematică a procesului de inovare, prezentată în buletine anterioare:



Implementate în continuare, pot genera **produse, procese sau servicii potențial inovative**, capabile să devină **inovare** (an *innovation*) când sunt introduse cu succes pe piață (inclusiv prin comercializare), spre uzul și beneficiul societății

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Pe scurt, *procesul de inovare*, adică parcursul spre *inovare*, pleacă de la creativitate, care poate genera idei noi, urmând ca după ce “sunt aduse la viață”, adică aplicate cu succes în practică, să transforme potențialul inovativ al ideilor -când există- în *inovare*, spre beneficiul societății.

Considerând pentru inovare definiția de mai sus, larg acceptată, inclusiv în Manualul OSLO 2018*, este absolut necesar ca noul concept / produs să satisfacă nevoile clientului. Precizăm că vorbim de “nevoi” (needs), nu neapărat de cerințe; nevoi care uneori nu sunt „traduse” corect, corespunzător în cerințe, specificații. De altfel metodologia Design For Six Sigma - DFSS începe cu etapa: *înțelegerea nevoilor clientului*. Notați vă rog că este vorba de *nevoi* (pe care va trebui, când vom începe elaborarea / dezvoltarea noul concept, să le „traducem” în *cerințe, specificații concrete*, preferabil și cu asistența clientului), și de *înțelegerea* nevoilor, nu de preluarea pur și simplu a lor; caz în care am putea face, la limită, *ceva foarte bine din perspectiva pur științifică / tehnică*, dar *care nu trebuie nimănui, nu au nici o utilitate* (uneori neconstituind nici măcar o contribuție remarcabilă teoretică pentru îmbogățirea cunoștințelor de bază ale domeniului vizat). Poate e necesar să facem din când în când și asemenea incursiuni, dar în acest caz nu putem vorbi de un posibil transfer tehnologic de succes și inovare ulterioară.

După crearea unei tehnologii (produs, serviciu) noi, tipic elaborată în laboratoarele de cercetare ale institutelor de profil și din mediul academic, următorul pas firesc ar fi *transferul de tehnologie*. Acesta reprezintă „deplasarea” cunoștințelor și descoperirilor științifice (care îndeplinesc cele trei criterii enumerate anterior), către firme/societate, beneficiarul final fiind publicul larg. Se poate obține astfel *inovarea*, în sensul de a introduce ceva nou și folositor (corespunzător TRL 7-8-9), cuprinzând: exploatarea cu succes a ideilor noi, introducerea pe piață a ceva nou sau procesul de a face îmbunătățiri prin introducerea a ceva nou.

*(v. articolul „Două fațete ale inovării: creativitatea și disciplina” din buletinul #16 al acestei serii TRANSFERUL TEHNOLOGIC și FIRMELE INOVATIVE: CONCEPTE, METODE ȘI INSTRUMENTE ȘTIINȚIFICE SUPT)

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Privind spre „real life”, observăm ca, din păcate, în procesul de inovare foarte puține dintre ideile noi se transformă într-un succes de piață în procesul de încercare de a inova, asta și poate din observațiile sintetizate în imaginea de mai jos:



Generarea ideilor bune este partea cea mai usoara
a unui proces de inovare

Selectia ideilor corecte si implementarea lor
sunt partea dificila in procesul de inovare



O statistică globală arată un raport de aproximativ trei mii la unu. Este vorba despre trei mii de idei „bune” în principiu, cu potențial, dar care nu au avut succes în viața reală (*real life*), pe piață, sau au fost „stocate” în firme din cauza unor motive „extra-tehnice”, precum constrângerile bugetare, lipsa de abilități de implementare efectivă și/sau o execuție operațională defectuoasă; prezentăm aceste aspecte, sintetic, în figura de mai jos:



Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Referitor la lipsa de abilități în implementarea efectivă urmate de o execuție operațională defectuoasă, în articolele precedente ale prezentei serii am prezentat strategii, abordări și metode suport încadrate în două mari categorii *Statistică pentru experimentatori*, *DFSS -Design for Six Sigma*, *verificare, proiectare robustă* (făcând parte din ceea ce este denumit generic în call-urile de proiecte europene și naționale *validare precoce a conceptelor*), și *Managementul de proiect*. Din prima categorie menționăm trei articole: *Strategii de experimentare în laboratorul de cercetare pentru accelerarea drumului spre TRL 7-8-9* în buletinul #9, *Dificultăți în experimente, atenuabile (mitigated) prin abordări statistice și principii de baza, suport în proiectarea unui experiment* în buletinul #10, și *Proiectarea robustă (Robust Design), instrument eficient în procesul de transfer tehnologic și inovare* în buletinul #12. Din a doua categorie menționăm alte trei articole: *Managementul de proiect – suport al transferului tehnologic și al inovării -introducere* în buletinul #13, *Grupele de procese și domeniile de cunoștințe ale managementului de proiect în procesul de inovare și transfer tehnologic* în buletinul #14 și *Maparea domeniilor de cunoștințe cu grupele de procese ale managementului de proiect și principalele documente ale managementului unui proiect* în buletinul #15

În spinosul proces de inovare plecăm de la cunoștințele de baza ale domeniilor abordate și de la creativitate. Dar, cum remarca profesorul Gary P. Pisano de la Harvard Business School din Statele Unite ale Americii în articolul „The Hard Truth About Innovation”, publicat în jurnalul Harvard Business Review din ianuarie 2019, în procesul de inovare, *creativitatea* poate fi „dezordonată”, este nevoie, trebuie adăugate *disciplină și management*. Articolul profesorului Pisano încearcă, în urma multor studii, cercetări, experimentări inclusiv, cu exemple și sugestii, să „demonteze” miturile legate de inovare, insistând pe importanța părții „mai dure și mai puțin distractive”, (tougher and less fun) a acestui proces, în esență pe *disciplină și management*. Pisano structurează problematica pe trei niveluri. Primul nivel se refera la *problemele întâlnite*, în care abordarea clasică este că inovarea de succes depinde de asigurarea în firma, în instituție a unui climat tolerant la eșec și un loc unde este o mare dorință pentru experimentare, pentru încercări, un climat în care ești în siguranță dacă îți exprimi nestingherit opiniile, care este colaborativ și neierarhic. Studiile, realitatea, arata și cred ca cei mai mulți dintre noi ne-am lovit de asta, că toate acestea, deși foarte necesare pentru inovare, *nu sunt suficiente, nu duc singure la succes*. Următorul nivel propus este, în mod natural, să ne punem întrebarea „ce ne lipsește ca să avem succes?”. Pisano propune că toate aceste comportamente dezirabile enumerate anterior trebuie să fie contrabalansate de comportamente „mai dure și mai puțin distractive”, respectiv: *intoleranță la incompetență, disciplină riguroasă, candoare brutală în exprimarea opiniilor, un nivel ridicat de asumare a responsabilității și un leadership puternic*.

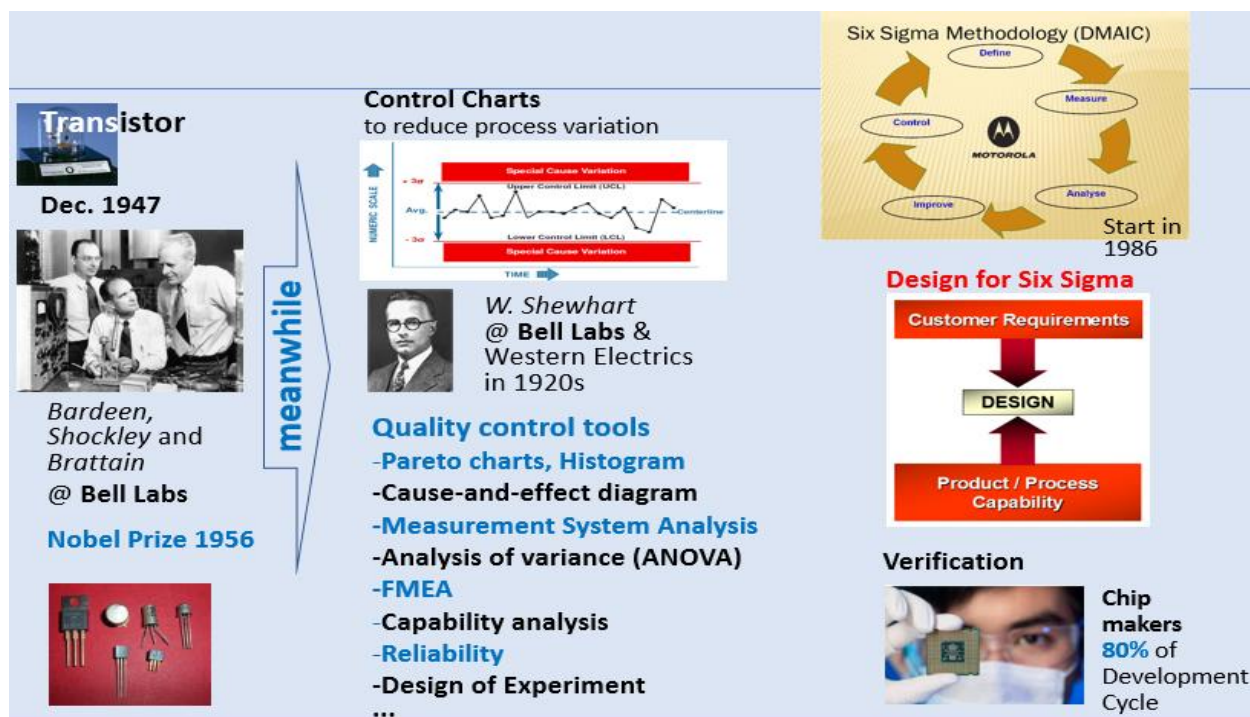
Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Nivelul trei se referă la asumarea responsabilității celor care doresc să conducă o asemenea întreprindere dificilă cum este procesul de inovare, adică la recunoașterea și asumarea *rolului leadership-ului*. O asemenea cultură generează în mod natural tensiuni care trebuie adresate, rezolvate cu mare grijă. Incertitudinea și confuziile care apar natural nu trebuie ascunse, ocolite, ci discutate, trebuie abordate frontal, cu transparență și găsită soluția optimă. Este evident că rolul unui leadership puternic este esențial pentru asta. Mai multe detalii legate de conceptele propuse de profesorul Pisano le găsiți în articolul „Două fațete ale inovării: creativitatea și disciplina” din buletinul #16 al acestei serii TRANSFERUL TEHNOLOGIC și FIRMELE INOVATIVE: CONCEPTE, METODE și INSTRUMENTE ȘTIINȚIFICE SUPT.

Tot în sprijinul folosirii metodelor „suport” (din păcate nepredare în universitățile politehnice din România și chiar din Europa, sau doar sporadic, nesistematic prezentate) este interesant de remarcat, din istoria științei și tehnicii că, chiar înainte și apoi în timp ce la laboratoarele Bell era descoperit efectul de tranzistor și inventat dispozitivul electronic care a revoluționat lumea, tranzistorul, alți savanți elaborau aceste metode suport. Sumarizăm acest parcurs în imaginea de mai jos:



Proiect

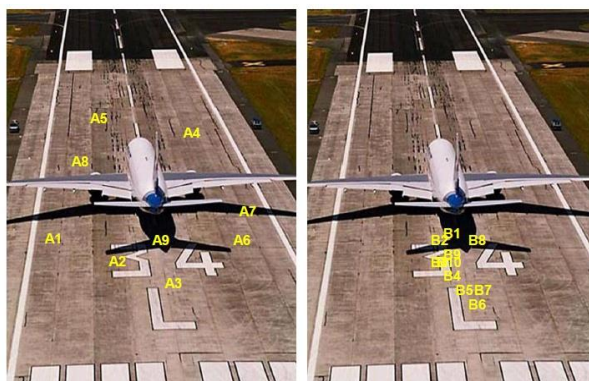
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Cum am prezentat în buletinele anterioare, aceste metode complementare, nu înlocuitoare ale cunoștințelor de baza ale domeniilor științifice și tehnice abordate în dezvoltarea produsului, susțin dezvoltarea noilor concepte, produse ca acestea să răspundă nevoilor, așteptărilor utilizatorilor (transpuse apoi în cerințe, specificații – *customer requirements*), putând fi în același timp fabricate la cele mai mici costuri posibile. În principal, înglobând multiple cunoștințe esențiale, de foarte buna calitate, utile pentru elaborarea noului concept încă din etapa de laborator de cercetare-dezvoltare, aplicând și aceste metode suport, se pot face aceste analize pe puține produse (la limita și pe un prototip) în laborator. Nu mai este vremea când se fabricau sute de mii de produse și, reactiv, se făceau analize statistice pe ele, îmbunătățind apoi conceptul și procesul asociat de fabricație. Era epoca folosii metodelor de tip DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve, Control), abordarea clasică în Lean Six Sigma de exemplu. În ultima vreme sunt din ce în ce mai mult folosite metodele PROACTIVE de tip Design For Six Sigma, - DFSS, inginerie concurentă sau, cum sunt denumite în industria semiconductorilor, „verification”. De reținut ca „verification” ocupa 80% din efortul, ciclul de dezvoltare al cipurilor semiconductoare în ziua de azi.

Ceva similar, înglobarea multor cunoștințe avansate de baza ale domeniului vizat, ale acestor metode suport, a tehnicii de calcul superperformante, au făcut posibil ca vaccinurile contra infecției SARS COV 2 (care poate provoca boala COVID 19) să fie dezvoltate în mai puțin de un an, incluzând și testele clinice relevante. Cei care spun că „trebuiau” cel puțin 10 ani se referă, se raportează în fapt la abordările „clasice”, când proiectam produse noi cu mai puține cunoștințe și le testam apoi perioade îndelungate, cu analize statistice realizate pe foarte multe produse, zeci de mii, chiar milioane.

Vom prezenta în continuare conceptul de baza în estimarea, prevederea calității unui produs și anume scorul sigma **SIGMA SCORE** (sau nivelul sigma – *sigma level*). Aveți în imaginea de mai jos înregistrările ultimelor 10 puncte de aterizare (prima atingere a pistei) ale unui pilot A și ultimele 10 ale altui pilot B:



Ambii piloți au aterizat de fiecare dată corect, pe pista; dar *cu ce pilot ați prefera să zburați și de ce?*

Proiect

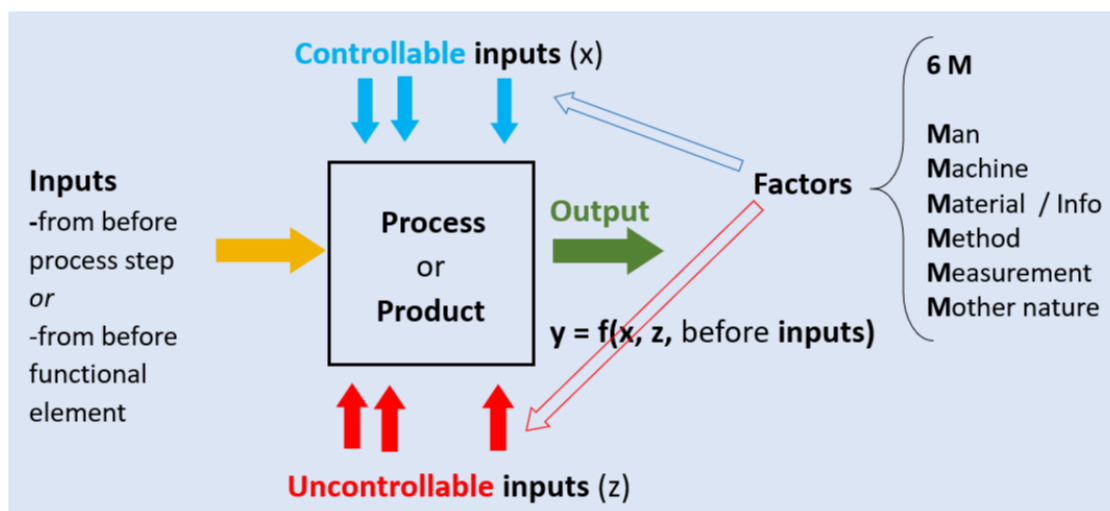
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Evident, răspunsul intuitiv este „cu pilotul B”, deoarece aterizările lui sunt mai „grupate” și mai „departe” de marginile pistei decât cele ale pilotului A.

Vom prezenta în continuare o descriere matematico-statistică mai riguroasă ale evaluărilor care duc sistematic la această decizie.

Cum aterizarea poate fi privită și descrisă ca un proces (care este constituit din intrări, ieșiri și acțiunile care transformă intrările în ieșiri), vor reaminti schema generală a unui proces (care poate descrie și schema funcțională a unui produs) prezentată în articolul „Strategii de experimentare în laboratorul de cercetare pentru accelerarea drumului spre TRL 7-8-9” din buletinul #9 al acestei serii.



Intrările controlabile sunt cele ale căror valori le putem stabili / seta noi (sunt în controlul nostru), cele necontrolabile sunt acele intrări pe care nu le putem controla -de exemplu umiditatea, presiunea, temperatura ambiantă, sau cele pe care alegem să nu le controlăm, acest lucru fiind de exemplu costisitor, ca de exemplu umiditatea și temperatura într-o hală de fabricație; oricum, așa cum am prezentat în articolul „Proiectarea robustă (Robust Design), instrument eficient în procesul de transfer tehnologic și inovare” din buletinul #12 al acestei serii, trebuie asigurată încă din faza de creare concept / produs nou în laboratorul de cercetare-dezvoltare o „independență” a ieșirii față de aceste variații posibile ale acestor intrări necontrolabile. Sunt intrări ale căror valori nu le controlăm (ne „vin” ca atare), dar ale căror efecte asupra ieșirilor trebuie minimizate; adică asigurarea unei proiectări robuste, Robuist Design (Tagguci) matematic oferind o sensibilitate foarte redusă a ieșirii la variațiile factorilor de intrare necontrolabili.

Proiect

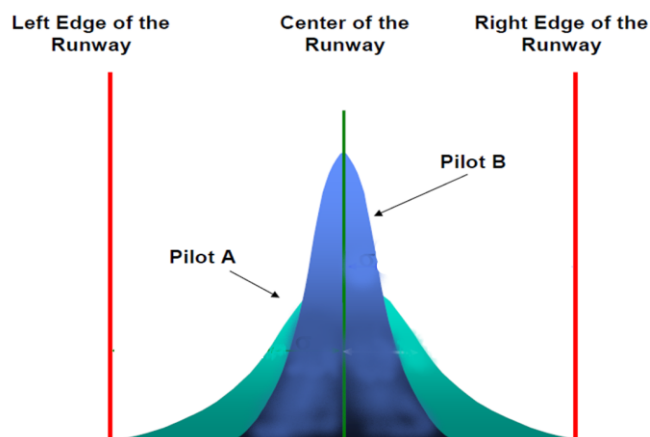
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

De remarcat și clasificarea foarte utilă a intrărilor în cei 6M, pe care o vom exemplifica în particular pentru aterizare: astfel putem privi aterizarea ca pe un proces în care este implicat pilotul (operator, „Man” din cei 6 M) care conduce un avion (Material din cei 6 M, în sensul că asupra lui acționează de la decolare până la aterizarea completă), cu un sistem de comandă și acționare, manșă, flapsuri, eleroane etc. (Machine din cei 6M), având proceduri pentru diferite etape și situații de zbor (Method din cei 6M), monitorizând mereu parametrii de zbor și starea avionului cu aparatele de măsură de la bord aflate în carlingă (Measurement din cei 6M), avionul fiind mereu supus stării atmosferice schimbătoare, curenți de aer, turbulente, goluri de aer, temperaturii, umidității, presiunii diferite (Mother nature din cei 6M, în esență factori de intrare necontrolabili – dar al căror efecte pilotul va trebui să le compenseze pentru a menține avionul în starea de navigare sigură tot timpul zborului, decolării și aterizării inclusiv).

Revenind la înregistrările punctelor de aterizare, se poate vedea că toate cele 20 de aterizări sunt în interiorul pistei (în interiorul specificațiilor, nu sunt ieșiri „defecte”, neconforme ale procesului de aterizare). De ce totuși preferăm pilotul B care aterizează mai „grupat” și mai departe de limitele pistei?

Să reprezentăm cele două procese, aterizările pilotului A respectiv ale pilotului B cu funcțiile de distribuție ale probabilităților (pdf – probability distribution function) corespunzătoare respectiv celor 10 aterizări, presupunând că distribuțiile sunt gaussiene (normale, bell shape):



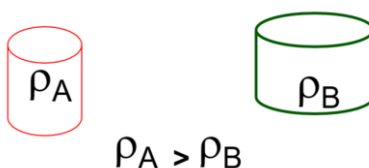
Observăm că distribuția pentru pilotul A este mai plată, cu marginile mai apropiate de specificații (marginile pistei) decât ale pilotului B. Vom prezenta în continuare câteva noțiuni de bază de probabilități și statistică și vom reveni cu amănunte pentru acest exemplu.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

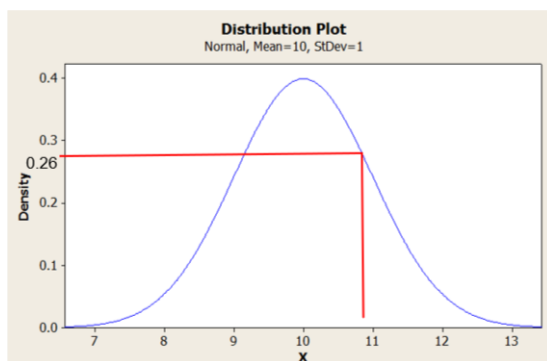
cod SMIS 2014+ 105623

În teoria probabilităților și statistică, distribuția de probabilitate (repartiția) descrie probabilitatea valorilor uneia sau mai multor variabile aleatoare. În cazul variabilelor discrete, distribuția identifică valorile și probabilitatea fiecărei valori. Pentru variabilele continue, distribuția identifică valorile posibile și probabilitatea asociată doar intervalelor de valori, nu a punctelor, a căror probabilitate de apariție este zero; doar intervalele (pe axa x) ale unei distribuții continue au asociată o probabilitate nenulă. Deoarece funcția de distribuție se referă la densitatea de probabilitate, a lua un punct (x) doar pentru a obține o probabilitate este similar cu faptul de a ști doar densitatea unui material, dorind să îi știm masa. Pentru a spune ce masă are bucata din respectivul material trebuie să mai știm și volumul materialului. Mai concret doar din informația din figura de mai jos, putem spune că masa bucatii de material A este mai mare ca masa bucatii de material B doar pentru că densitatea materialului A (ρ_A) este mai mare ca densitatea materialului B (ρ_B)?



Bineînțeles că NU! Trebuie să știm și volumele celor două corpuri (V_A și V_B), ca să obținem masele respective $m_A = \rho_A * V_A$ și $m_B = \rho_B * V_B$.

Similar doar un punct în graficul funcției de distribuție a probabilităților (pdf – probability distribution function) nu reprezintă o probabilitate:



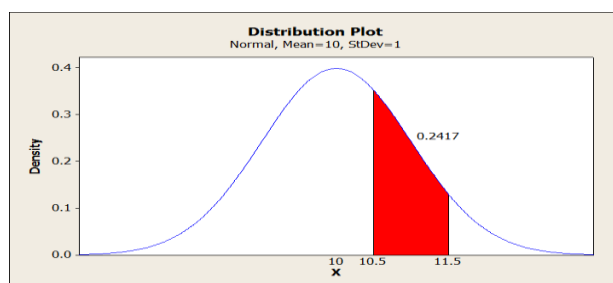
Aici 0.26 (pe axa y , a densităților de probabilitate) NU este probabilitatea de apariție a valorii 10.9 de pe axa x , ci doar densitatea de probabilitate asociată acestui punct.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

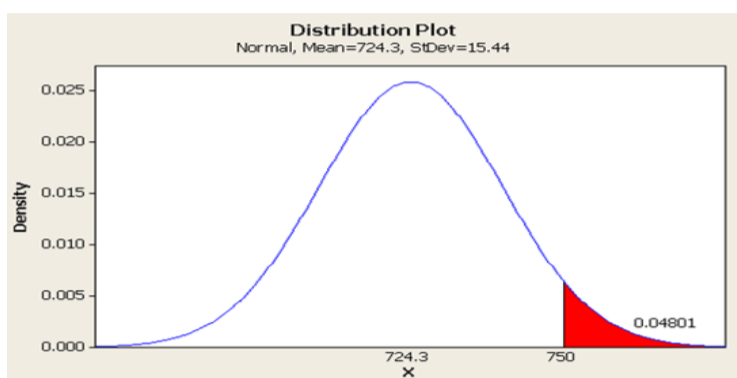
cod SMIS 2014+ 105623

Similar cu cazul materialelor A și B, unde pe lângă densitatea materialului trebuia să știm și volumul ca să obținem masele pe care să le comparăm, la probabilitate trebuie să mai știm și lungimea intervalului pentru care putem determina probabilitatea de apariție, în reprezentarea funcției de densitate de probabilitate. Putem urmări aceasta în exemplul următor:



Ținând cont că întreaga arie de sub orice curbă a funcției densitate de probabilitate, de la minus infinit la plus infinit este întotdeauna egală cu 1 (corespunzător unei probabilități de 100%, ADICA EVENIMENTUL SIGUR). Este evident că întotdeauna (probabilitate de 100%) un punct pe axa reală va avea o valoare cuprinsă între minus infinit și plus infinit, unde este definită teoretic distribuția. În cazul figurii de mai sus, care reprezintă o distribuție de probabilitate particulară, aria de sub curba normală a pdf dintre valorile 10.5 și 11.5 de pe axa x este egală cu 0.2417. Asta înseamnă că, în cazul acestei distribuții, probabilitatea de apariție a unei valori x în intervalul [10.5, 11.5] este de 24.17%.

În cazul distribuției următoare:



observăm că probabilitatea ca x să ia o valoare mai mare ca 750 este de 4.8%. Corespunzător ariei normalizate -toată aria de sub întreaga curbă este 1- proporția de sub curba corespunzătoare evenimentului $x > 750$ este 0.04801, respectiv aria marcată cu roșu în grafic.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Acest ultim caz particular este de interes în cazul evaluării posibilelor defecte ale unui proces ale cărui ieșiri (variabila aleatoare) au distribuția de probabilitate din acest ultim grafic. Dacă 750 este limita superioară a specificațiilor, zona roșie reprezintă proporția de defecte (produsele care au pentru caracteristica de ieșire x o valoare mai mare ca 750).

Pentru foarte multe procese sau fenomene naturale -compuse din suma a multor cauze aleatoare primare cu ponderi similare- distribuția de probabilitate f urmează o forma de clopot și se numește distribuție normală sau gaussiana (după descoperitorul ei, matematicianul F. Gauss), având funcția densitate de repartiție:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

unde x este punctul curent pe abscisa.

Din definiția mediei ca moment de ordinul unu, va rezulta ca μ este chiar punctul care reprezintă valoarea medie:

$$M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \mu$$

Din definiția dispersiei ca moment de ordinul doi, va rezulta ca σ^2 din formula anterioara a distribuției normale, reprezintă dispersia ei:

$$\begin{aligned} \sigma^2(X) &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - M(X))^2 \cdot f(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} (x - M(X))^2 \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \sigma^2 \end{aligned}$$

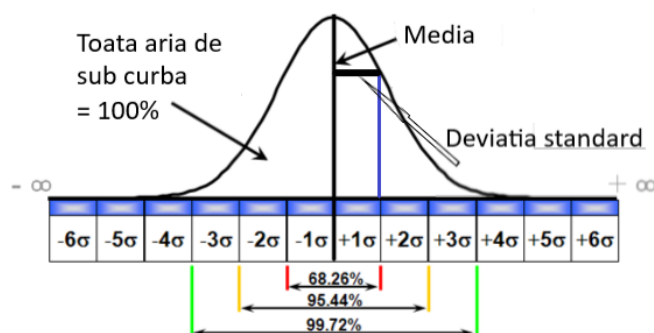
Media reprezintă tendința de „centralitate” ale valorilor distribuției și, din punct de vedere matematic, dispersia (σ^2) este o caracterizare suficientă a „împrăștierii” punctelor. Dar în realitate este nepractic să spunem că o distribuție, de exemplu a unui proces de strunjire, are, ca dimensiuni, valoarea medie a diametrului pieselor de 10 mm și o dispersie de 0.1 mm². Sau, având înregistrări zilnice, să spunem că am cheltuit într-o luna în medie (μ) 1000 de lei cu o dispersie (σ^2) de 2 lei². Din acest motiv vom considera pentru măsura „împrăștierii” rădăcina pătrată din dispersie, numită *deviația standard* (σ).

Proiect

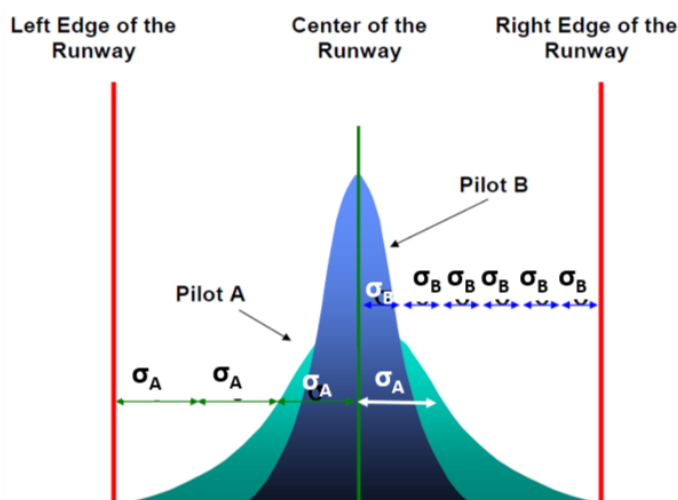
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Prezentăm în continuare graficul distribuție normale, pânănd în evidență media, deviația ei standard precum și procente (proporțiile) cuprinse sub grafic pentru diferite distanțe (în deviații standard) față de valoarea medie a distribuției:



Revenind la cele două grafice, suprapuse, ale celor două seturi de aterizări, completăm cu deviațiile standard corespunzătoare și cu numărul de deviații standard ale fiecărei distribuții față de specificații (limitele pistei de aterizare):



Se observă că distribuția A are o deviație standard (σ_A) mai mare ca deviația standard a distribuției B (σ_B), ceea ce era de așteptat, adică valoarea numerică a măsurii dispersei să reflecte ce am observat deja, că modul de aterizare al pilotului A este mai „împrăștiat”.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

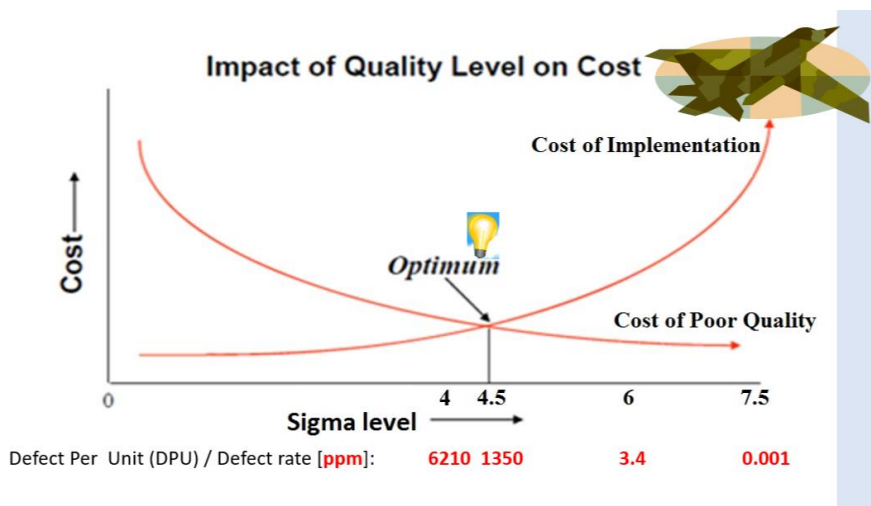
În continuare observăm că pentru distribuția A sunt 3 deviații standard până la o valoare a specificației (avem o distribuție simetrică față de specificații, având 3 distribuții la stânga și trei distribuții la dreapta de la valoarea medie la specificații, respectiv). Similar observăm că distribuția B are 6 deviații standard (în stânga și în dreapta valorii medii) până la specificații (limitele pistei de aterizare).

Tot ce ar fi în afara specificațiilor ar reprezenta neconformități, defecte. *Definim ca SIGMA SCORE sau nivelul sigma numărul de deviații standard ale unui proces până la specificații.*

În cazul pilotului A putem spune că procesul lui de aterizare are un SIGMA SCORE de 3, iar al pilotului B de 6. Pe măsură ce SIGMA SCORE este mai mare, avem o distanță mai mare a centrului și „grupării” procesului față de specificații, deci mai puține defecte. Pentru un proces cu SIGMA SCORE de 6, un așa numit proces 6 sigma (six sigma) avem doar 3.4 defecte la un milion de oportunități de defecte sau de defecte pe unitate DPU.

S-a ales ca un „prag” util, ca un standard de calitate, valoarea de șase sigma. Această valoare și nu una mai mică de exemplu, provine din istorie, de locul în care a apărut metodologia Six Sigma și anume în industria de semiconductoare (Motorola, 1986).

Dar în general, pentru aplicațiile concrete, pe lângă nivelul sigma (SIGMA SCORE) care, cu cât este mai mare avem mai puține defecte, deci un cost mai mic al calității necorespunzătoare (COPQ – Cost of Poor Quality), trebuie să ținem cont și de costul implementării. Acesta din urmă crește pe măsură ce facem procesele / produsele finale, mai „precise”, existând un optim, un balans între cele două costuri:



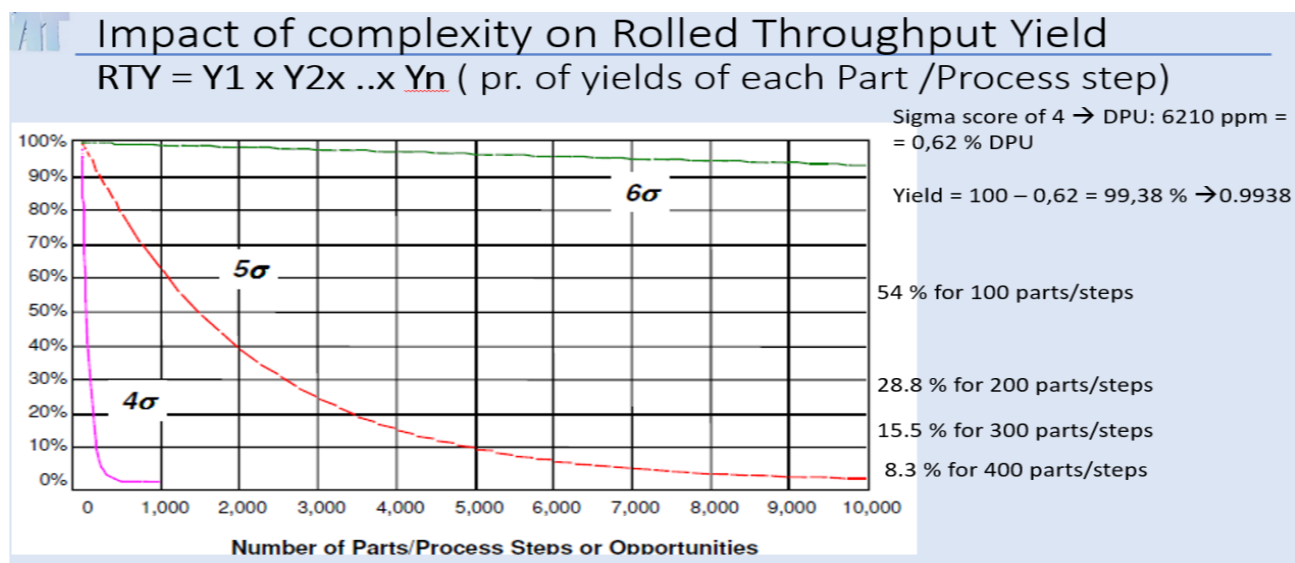
Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Cum se vede în grafice, COPQ scade pe măsură ce crește nivelul sigma, costul de implementare crescând corespunzător. În funcție de aceste costuri, există optime diferite pentru diferite produse. Cum am reprezentat și în figura anterioară, pentru un bec poate fi optim (și suficient) o valoare de 4.5 pentru nivelul sigma, pe când pentru un avion e necesar unul mult mai mare (chiar 7.5 sigma, corespunzător doar unui defect la un miliard de oportunități).

Cum am menționat, metodologia Six Sigma (DMAIC) a apărut în 1986 la firma Motorola, punând de fapt la un loc instrumente, metodologii dezvoltate începând cu anii 20 ai secolului trecut. Apărând în industria de cipuri electronice care conțineau deja mii și chiar zeci de mii de componente electronice integrate într-un cip, nu a fost practic un nivel mai mic de 6 sigma pentru scorul sigma, cum se poate vedea în figura de mai jos:



Dacă de exemplu pentru o componentă un nivel de calitate de 4 sigma, adică un randament de 99.38% (rata de defecte de 0.62% în fabricația ei) este un nivel foarte bun pentru multe aplicații, pe măsură ce componentele cu acest nivel sunt puse să funcționeze împreună într-un produs, datorită caracterului multiplicativ al probabilităților de bună funcționare, randamentul total scade rapid cu creșterea numărului de componente, așa cum se poate vedea și în grafic și în calculul din partea dreaptă.

Se vede în grafic că doar nivelul de 6 sigma pentru fiecare componentă, deși probabilitățile sunt multiplicative, asigură un randament total de peste 90% chiar și pentru 10 000 de componente.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

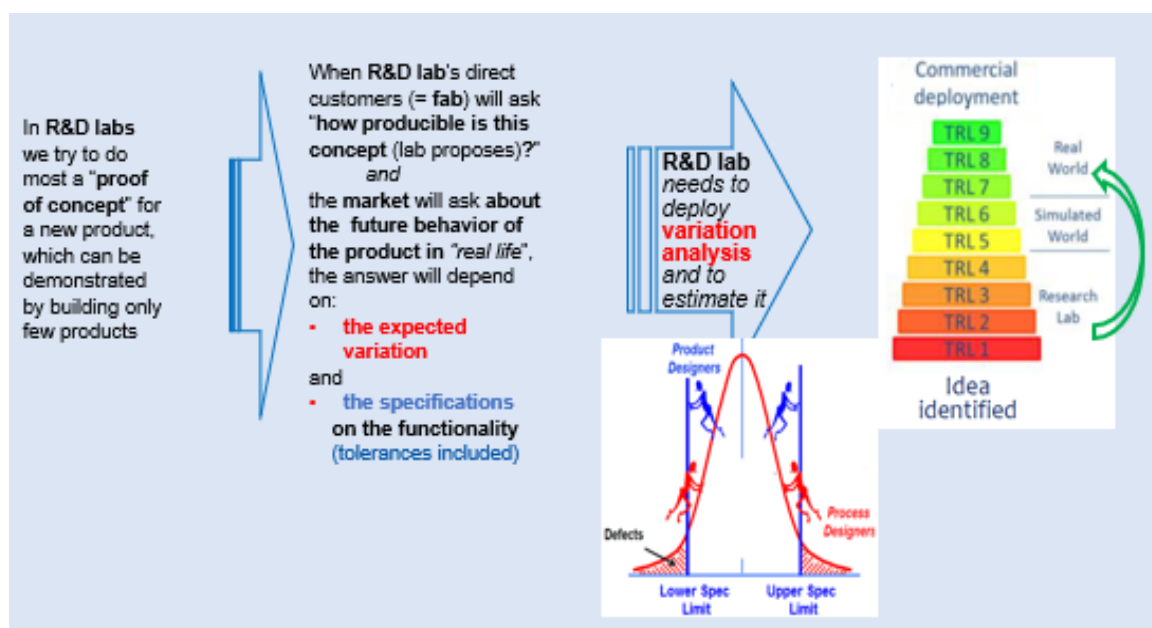
cod SMIS 2014+ 105623

Așa cum menționam în deschiderea prezentului articol, în buletinul anterior #17 prezentam abordarea „la doua capete”, respectiv nevoia clientului / utilizatorului și capabilitatea procesului de fabricație, urmată de un studiu de caz legat de un dispozitiv de captare a energiei mecanice (vibrații) și transformarea ei în energie electrică, dezvoltat la INCĐ Microtehnologie, IMT București.

După o sumarizare a celor prezentate în studiul de caz, vom continua cu prezentarea următorilor pași făcuți în prezentul studiu, utilizând **analiza propagării variației** (intrări - ieșiri). Venind la problema cheie a *transferului tehnologic* urmat de o *inovare* de succes (adică introducerea a ceva nou, folositor, care să aibă efect în societate, pe piață inclusiv), după ce un nou concept / produs a fost elaborat în laboratoarele de cercetare-dezvoltare, firmele care îl vor fabrica, chiar atelierele proprii de fabricație (micro-producție) ale entităților de cercetare-dezvoltare (institute sau universități) vor adresa întrebări legitime: cat de manufacturabil este conceptul (TRL 5 și 6) și cum se va comporta în condițiile reale de funcționare adică în mediul operațional (TRL 7, 8 chiar 9).

Pentru a răspunde la aceste întrebări, laboratorul de cercetare-dezvoltare, în cooperare cu fabricanții și utilizatorii finali ai produsului, chiar cu cei potențiali ai produsului pentru care este implementată / dezvoltată cercetarea aplicativă respectivă, **vor trebui să efectueze o analiză a variantei, să o estimeze și chiar experimenteze.**

Prezentăm în figura de mai jos, schematic, această abordare:



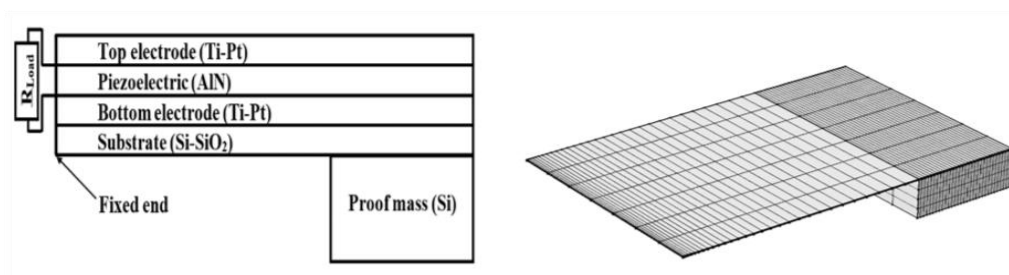
Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Scopul dispozitivului prezentat, realizat în tehnologie MEMS (microtehnologie) în IMT București, este de a capta energie din vibrații mecanice (harvesting) -tipic din aplicații legate de avionica- și de a o transforma în energie electrică pentru alimentarea dispozitivelor electronice din rețelele de senzori wireless implicate în aplicații de SHM (Structural Health monitoring) pentru aeronave.

Structura dispozitivului, bazat pe fenomenul piezoelectric, este:



Pentru această structură s-a dezvoltat un model în Comsol, iar în continuare, pentru determinarea unei funcții de transfer liniare explicite, am utilizat metodologia DOE (Design of Experiment) la nivel analitic, adică nu au fost efectuate efectiv, fizic, experimentele cu valorile de intrare setate la valorile fiecărei rulări (run), ci au fost furnizate aceste valori de intrare modelului realizat în Comsol, care a returnat valorile calculate, introduse apoi în tabel, respectiv ca rezultate (F_{rez}) pentru fiecare rulare (run), așa cum vom prezenta în tabelul următor.

Vom folosi în continuare funcția de transfer obținută după rularea DOE pentru frecvența de rezonanță mecanică proprie a dispozitivului (în Hz) F_{rez} :

$$F_{rez} = -667.61 + 187.64t_{sub} + 0.418L_{pm} + 0.223L_b - 0.049t_{sub}L_b - 1.49E-04L_{pm}L_b$$

Unde factorii de intrare (parametrii de fabricație ai dispozitivului) sunt:

Factor	Description [unit]
t_{sub}	Substrate thick. [μm]
t_p	Piezo. thickness [μm]
L_{pm}	Proof mass length [μm]
L_b	Cantilever length [μm]
W_b	Cantilever width [μm]

Proiect

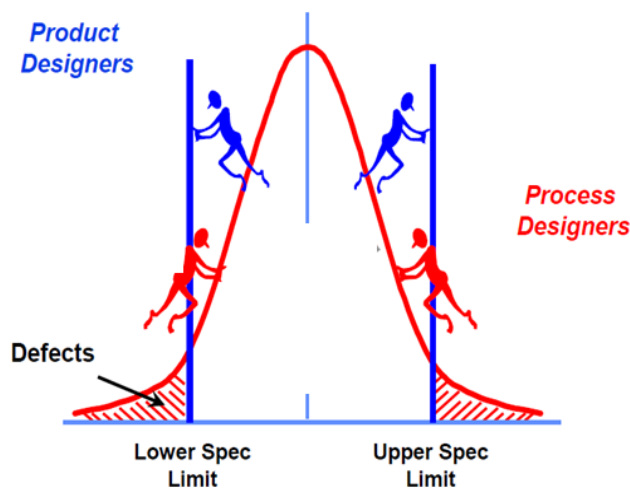
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

După cum se poate remarca, nu toate intrările considerate sunt prezente în funcția de transfer anterioară. Aceasta nu înseamnă ca ele nu sunt necesare în construirea dispozitivului, ci arată doar că variația lor utilizată în experimentul analitic realizat prin metodologia Design Of Experiment (DOE) nu a realizat un efect statistic semnificativ, adică o variație statistic semnificativă a ieșirii (Frez). Aceasta înseamnă ca valorile lor pot fi setate oriunde în interiorul intervalelor (Low- High respective), putând fi optimizate utilizând și alte criterii (de exemplu costuri). Respectiv t_{sub} (substrate thick), L_{pm} (proof mass length), L_b (cantilever length) sunt factorii de intrare în modelul cu care vom face următoarea analiză de propagare a variațiilor, ceilalți doi factori de intrare putând lua orice valoare în respectiv intervalele: t_p (piezo thickness) în $0,71 - 1,0 \mu m$ și W_b (cantilever width) în $2000 - 3000 \mu m$.

Vom prezenta în continuare baza teoretică a metodei alese pentru analiza propagării variației.

Reamintim că toate caracteristicile de ieșire ale unui produs care ies în afara specificațiilor reprezintă defecte, ca în figura de mai jos:



În figură de mai sus este sugerat și faptul, cu implicație practică majoră, că nu trebuie considerate de către dezvoltatorul, proiectantul produsului limite foarte strânse, nenecesare pentru nevoia clientului / utilizatorului. De exemplu ar fi nerealist să considerăm o precizie nanometrică pentru trasarea unui teren de tenis, adică să nu cădem în greșeala sintetizată în “coeficient de siguranță = coeficient de ignoranță”. De asemenea este sugerat că, deși inginerii de proces se străduiesc să ofere procese cât mai precise, lucru bun în principiu pentru îmbunătățirea proceselor, nu trebuie oferite procese nenecesare de “înguste” (variații foarte mici), ca în exemplul anterior cu trasarea terenului de tenis cu precizie nano.

Proiect

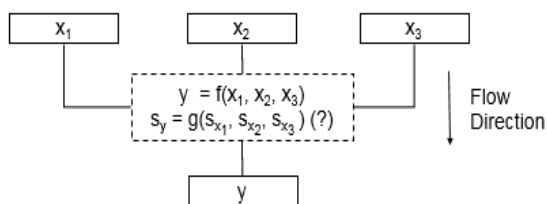
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Pentru a estima rata posibilă de variație a caracteristicilor de ieșire (cele în afara specificațiilor reprezentând defecte), pornim de la variațiile posibile ale factorilor de intrare (sau admise prin specificații corespunzătoare). În esență facem o analiza a propagării variațiilor de la intrări la ieșiri, abordările, la nivel general, fiind în doua sensuri, de la variațiile intrărilor se estimează variațiile asociate ale ieșirilor (figura din stânga) și în sensul de la variațiile admise ale ieșirilor către estimarea variațiilor admisibile ale intrărilor (figura din dreapta):

Inputs to Process Capability Stackup:

- x_i and s_{x_i} process capability data is known.
- $y = f(x_i)$ equation(s) are known

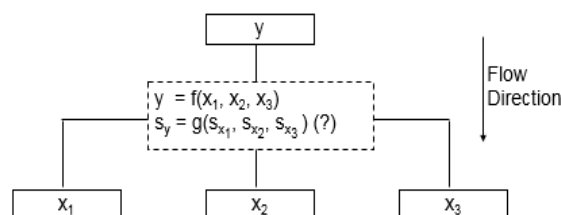


Output from Process Capability Stackup:

- y and s_y the expected value and expected variation have been determined

Inputs to Requirements Flow Down

- y and s_y requirements are known
- $y = f(x_i)$ equation(s) are known.



Output from Requirements Flow down:

- x_i and s_{x_i} (the low level requirements are defined)

unde x sunt variabilele de intrare, y este ieșirea iar s -urile sunt deviațiile standard ale funcțiilor distribuție de probabilitate (aleatoare) asociate.

Principalele metode pentru aceasta analiza sunt (le vom enumera în limba engleza, pentru nu crea confuzii cu traduceri, uneori diferite, din limba romana)

- Worst Case Analysis
- Root Sum Squared Method (RSS)
- Partial Derivative Method
- Monte Carlo

Worst Case Analysis (analiza bazata pe cazul cel mai defavorabil) se bazează pe considerarea valorilor extreme privind variațiile posibile le mărimilor de intrare, de exemplu toate toleranțele -care s-ar suma de exemplu- ori la valoarea maxima ori la cea minima. Este metoda care a fost larg utilizată multă vreme în proiectare. Dezavantajele ei majore sunt ca avem, de cele mai multe ori, o probabilitate extrem de mica ca toate valorile de intrare aflate într-o distribuție, cel mai frecvent, normala (gaussiana) sa fie “aliniată” doar pe acele valori extreme.

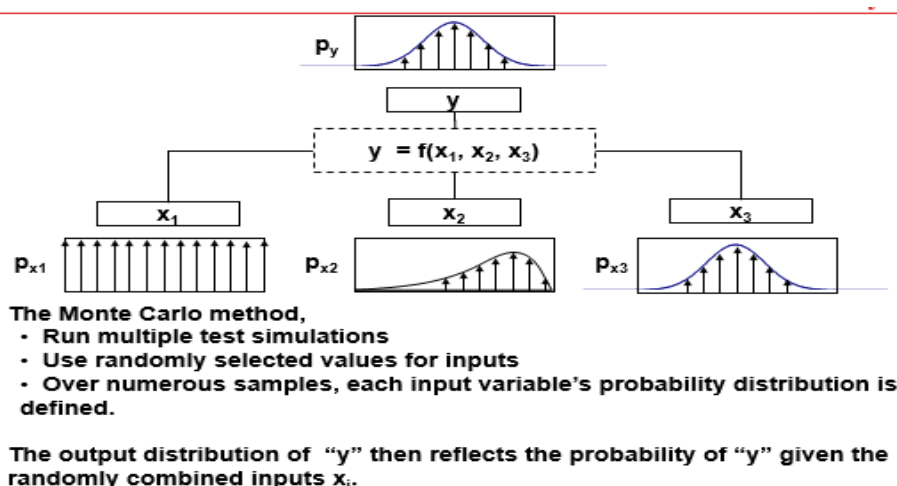
Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Se pot elimina astfel foarte multe produse conforme de fapt și induce mentalitatea “goal post”, adică facem ce putem, vedem ce obținem și asta ieșit, asta oferim. Neavând de fapt evidențiat un model de dependență ale ieșirilor de intrări (implicit în modelarea Comsol de exemplu sau chiar funcții de transfer explicite), duce la soluții sub-optimale și la costuri mari, ne-necesare, pentru componente. În esență, nu ține cont de abordarea, practică azi larg în industrie, de a porni de la “capătul” cerința clientului, utilizatorului și a dezvolta produsul în consecință, ținând cont și de celălalt “capăt”, capacitatea proceselor de fabricație.

Metoda *Monte Carlo* este larg utilizată de exemplu în industria componentelor electronice, fiind redată schematic mai jos:



Necesita foarte multe rulări (run, sample size) pentru a obține o precizie acceptabilă, conform tabelului de mai jos:

Sample Size	90 % confidence level table	
	error of mean % of std. dev.	error of std. dev. (%)
10	58	36
100	17	10
1,000	5	3
10,000	2	1
100,000	1	0.3

Este o metodă utilă în cazul existenței a foarte multe componente constitutive ale unui dispozitiv complex (ca microprocesoarele electronice, etc) și unde este dificil să obținem o funcție de transfer analitică convenabilă ca dimensiuni și complexitate.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Metoda Root Sum Squared (RSS) se poate aplica direct când cunoaștem deviațiile standard ale unor
întări care contribuie în mod egal la o ieșire rezultantă; un exemplu tipic este combinarea varianțelor
(deviația standard la pătrat): a varianței procesului cu varianța sistemului de măsură:

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{product} + \sigma^2_{meas\ system}$$

Total VARIANCE (the total perceived variation) =
product VARIANCE + **meas. system VARIANCE**

Supposing the variation of the product is independent from the variation of the meas. system

Vom descrie în continuare metoda pe care o vom utiliza, **Partial Derivative Method** (PDM).

Având o funcție de transfer

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

și notând cu

S_y = deviația standard pt y

$S_{x1}, S_{x2}, \dots, S_{xn}$ deviațiile standard pentru respectiv intrările $x_1, x_2, \dots, x_n$

$\partial y / \partial x_i$ derivata parțială a lui y în raport cu x_i

Obținem relația:

$$(s_y)^2 = \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right) s_{x_1} \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right) s_{x_2} \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_3} \right) s_{x_3} \right\}^2 + \dots + \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \right) s_{x_n} \right\}^2$$

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
 PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Varianța (deviația standard la pătrat) a ieșirii este suma fiecărei varianțe a intrărilor înmulțita cu derivata parțială corespunzătoare la pătrat. În esență:

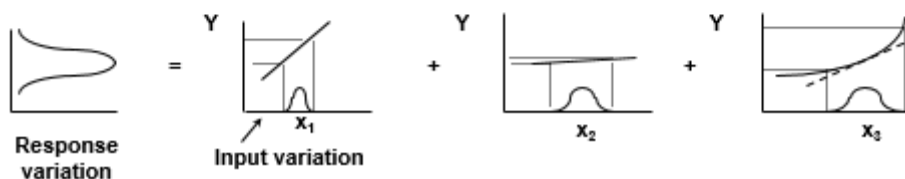
The partial derivative method (PDM):

- Take partial derivatives of $y=f(x)$ equation and evaluate at nominal x values:

$$(s_y)^2 = \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right) s_{x_1} \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right) s_{x_2} \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_3} \right) s_{x_3} \right\}^2 + \dots + \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \right) s_{x_n} \right\}^2$$

$$s_y^2 = c_1^2 s_{x1}^2 + c_2^2 s_{x2}^2 + c_3^2 s_{x3}^2 + \dots + c_n^2 s_{xn}^2$$

- The “c” coefficients are sensitivities
- In linear problems, the partial derivative is the local slope of the x-to-y relationship:



Revenim la funcția de transfer (model liniar în coeficienți) obținută prin aplicarea unui DOE analitic, 64 de run, modelului implicit al dispozitivului construit în Comsol (detalii în articolul din buletinul anterior, #17):

$$F_{rez} = -667.61 + 187.64t_{sub} + 0.418L_{pm} + 0.223L_b - 0.049t_{sub}L_b - 1.49E-04L_{pm}L_b$$

Introducem această funcție de transfer într-un algoritm de calcul al derivatelor parțiale numerice prin polinoame de ordinul șase, introducând în continuare ca valoare țintă pentru frecvența de rezonanță F_{rez} a dispozitivului (caracteristică de ieșire a lui) valoarea de 250 Hz, adică o valoare tipică a turației giroscopelor din avioane; considerăm și o „plajă”, o toleranță de +/- 10% fata de valoarea țintă de 250 Hz (= customer requirements în schema noastră cu „abordarea la două capete”).

La fel, introducem valorile nominale pentru cele trei intrări, valori prezentate la studiul de caz din buletinul anterior, studiul pe care îl continuăm acum. Aceste valori însoțite și ele de toleranțele admise pentru întări, respectiv de +/- 10% pentru Tsub, +/-10% pentru Lpm și +/-5% pentru Lb.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Toate aceste valori și rezultatele obținute se regăsesc în tabelul de mai jos:

y Specifications		y Calculated Results	
Nominal	250.000	$y=f(x)$	250.000
-Tol	10.000	$\sigma(y)$	9.782
+Tol	10.000		
Act or %	%		
LT/ST	LT	σ_s	3.80
LSL	225.000	DPU	1.059E-02
USL	275.000	Yield	98.9407%

n Variables (x)		Specifications			
Description	Name	Nom Value	-Tol	+Tol	a %
Substrate thick	Tsub	5.000	10.000	10.000	%
Proof mass length	Lpm	1500.000	10.000	10.000	%
Canilever length	Lb	2621.822	5.000	5.000	%

În urma analizei de propagare a variației folosind metoda PDM,
pentru **valorile de intrare nominale și toleranțele aferente**,
cu **cerințele pentru iesirea y (customer requirements)**, obținem un **SIGMA SCORE de 3.80**.

Am considerat toleranțe mari pentru intrare, adică procese de fabricație cu un cost mai scăzut; în consecință, valoarea obținută pentru SIGMA SCORE este una de doar 3.8, corespunzătoare totuși unui randament (Yield) de 98.94 %. Acest randament (corespunzător unei rate de defectare de aproximativ 1%) poate fi unul acceptabil în situații mai puțin critice decât aplicațiile Structural Health Monitoring (SHM) pentru prelungirea vieții aeronavelor și scăderea implicită a costurilor de transport aerian. Este interesant că, pe lângă scăderea costurilor prin prelungirea perioadei de serviciu ale aeronavelor, prin implementarea unor rețele de senzori pentru SHM, crește siguranța în exploatarea aeronavelor datorită monitorizării continue a stării structurii avioanelor.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

O cale de a reduce variațiile posibile ale valorilor de ieșire, adică de reducere a defectelor și creșterea implicită a SIGMA SCORE și a randamentului, este utilizarea unor utilaje mai precise, obținând intrări ale dispozitivului cu toleranțe mai mici față de valorile nominale. Urmărim această situație, acest scenariu, în tabelul de mai jos:

y Specifications		y Calculated Results	
Nominal	250.000	y=f(x)	250.000
-Tol	10.000	$\sigma(y)$	3.749
+Tol	10.000		
Act or %	%		
LT/ST	LT	σ_s	8.07
LSL	225.000	DPU	2.586E-11
USL	275.000	Yield	100.0000%

n Variables (x)		Specifications				
Description	Name	Nom Value	-Tol	+Tol	a %	
Substrate thick	Tsub	5.000	1.000	1.000	%	
Proof mass length	Lpm	1500.000	10.000	10.000	%	
Canilever length	Lb	2621.822	2.500	2.500	%	

Prin reducerea toleranțelor pentru Tsub la 1% de la 10% și pentru Lb la 2.5% de la 5% obținem un SIGMA SCORE de 8, o valoare foarte mare, corespunzătoare unui randament (Yield) de practic 100%. Nu ar fi nimic rău în asta dacă nu ar implica și costuri mult mai mari decât în cazul toleranțelor mai mari, mai largi, din analiza precedentă.

Cunoscând funcția de transfer, modelul explicit al dispozitivului (dependența caracteristicilor de ieșire față de parametrii de intrare, aici valorile dimensionale ale dispozitivului), putem continua cu o abordare proactivă, de optimizare. Ne referim la optimizarea *valorilor nominale* de intrare în contextul menținerii toleranțelor de intrare, adică în contextul menținerii utilajelor și proceselor în clasa de precizie de dinainte de optimizare.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
 PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Obținem astfel un SIGMA SCORE de practic 6 cu noile valori nominale pentru Lpm și Lb:

y Specifications		y Calculated Results	
Nominal	250.000	y=f(x)	250.000
-Tol	10.000	$\sigma(y)$	5.394
+Tol	10.000		
Act or %	%		
LT/ST	LT	σ_s	5.99
LSL	225.000	DPU	3.576E-06
USL	275.000	Yield	99.9996%

n Variables (x)	Specifications				
Description	Name	Nom Value	-Tol	+Tol	a %
Substrate thick	Tsub	5.000	1.000	1.000	%
Proof mass length	Lpm	900.000	10.000	10.000	%
Canilever length	Lb	2527.325	6.000	6.000	%

Totuși o toleranță, o clasa de precizie de 1% pentru „substrate thick” implică costuri foarte mari de achiziție. Vom relua mai jos analiza propagării variațiilor pentru o clasa de precizie de 10% (care înseamnă costuri mult mai mici de achiziție și/sau de fabricație):

y Specifications		y Calculated Results	
Nominal	250.000	y=f(x)	250.000
-Tol	10.000	$\sigma(y)$	6.288
+Tol	10.000		
Act or %	%		
LT/ST	LT	σ_s	5.31
LSL	225.000	DPU	7.018E-05
USL	275.000	Yield	99.9930%

n Variables (x)	Specifications				
Description	Name	Nom Value	-Tol	+Tol	a %
Substrate thick	Tsub	5.000	10.000	10.000	%
Proof mass length	Lpm	900.000	10.000	10.000	%
Canilever length	Lb	2527.325	5.000	5.000	%

Obținem un SIGMA SCORE bun de 5.31 corespunzător unui randament bun de 99.993%

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
 PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

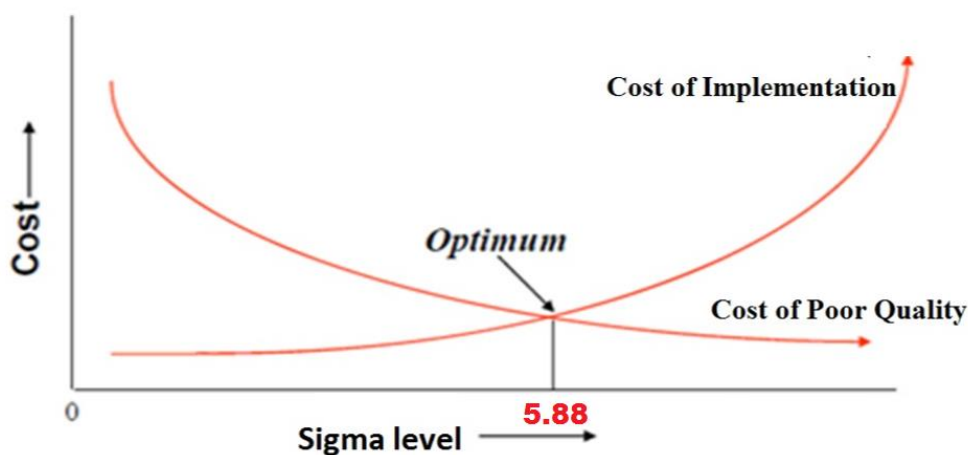
cod SMIS 2014+ 105623

Vom pleca de la penultimul caz și vom face o ultimă analiză de propagare a variațiilor și optimizare, ținând cont de costul defectelor (Cost of Pure Quality - COPQ) și de costurile implementării, adică plecăm de la următoarea alocare pentru intrări (când am obținând un SIGMA SCORE de 5.99):

:

Variables (x)	Specifications				
Description	Name	Nom Value	-Tol	+Tol	a %
Substrate thick	Tsub	5.000	1.000	1.000	%
Proof mass length	Lpm	900.000	10.000	10.000	%
Canilever length	Lb	2527.325	6.000	6.000	%

Vom considera pentru COPQ o valoare de 10 lei pe defect, iar pentru costul implementării o creștere a costului cu 0.01 lei (1 ban) pe unitatea de scădere a valorii numerice a toleranței pentru Tsub, și cu cate 0.1 lei (10 bani) pentru Lpm și Lb. Obținem punctul optim la un SIGMA SCORE de 5.88:



Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
 PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Găsim în tabelul de mai jos valorile corespunzătoare ale noilor toleranțe pentru factorii de intrare:

y Specifications		y Calculated Results	
Nominal	250.000	$y=f(x)$	250.000
-Tol	10.000	$\sigma(y)$	5.521
+Tol	10.000		
Act or %	%		
LT/ST	LT	σ_s	5.88
LSL	225.000	DPU	5.952E-06
USL	275.000	Yield	99.9994%

Variables (x)		Specifications			
Description	Name	Nom Value	-Tol	+Tol	a %
Substrate thick	Tsub	5.000	2.000	2.000	%
Proof mass length	Lpm	900.000	20.000	20.000	%
Canilever length	Lb	2527.325	8.000	8.000	%

Obținem o relaxare a cerințelor pentru toleranțele de intrare, deci o scădere a costurilor asociate. Aceste valori optime se obțin cu o scădere nesemnificativă a SIGMA SCORE, respectiv de la 5.99 pentru toleranțele inițiale la 5.88 în acest caz optimizat din punct de vedere al costurilor. Respectiv de la o scădere a randamentului de la 99.9996% la 99.9994%

Majoritatea abordărilor, metodelor, uneltelor prezentate de a lungul acestei serii TRANSFERUL TEHNOLOGIC și FIRMELE INOVATIVE: CONCEPTE, METODE și INSTRUMENTE ȘTIINȚIFICE SUPORT, reprezintă în esență metode de reducere a incertitudinii (de exemplu din analizele de variabilitate) până la un nivel corespunzător cerințelor și nevoilor beneficiarilor inovărilor de succes, în termeni de calitate (funcționalitate, precizie) și costuri. Ele nu sunt un înlocuitor al cunoștințelor de baza și al abilităților legate de domeniul în care are loc inovarea, dar reprezintă un supliment absolut necesar.

Proiect

Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

Pentru aplicarea dedicată, efektivă, aceste abordări, metode trebuie aprofundate: vă stau la dispoziție cu orice întrebări și suport ulterior, specific proiectului TGE PLAT, precum și în cadrul altor colaborări posibile cu INCĐ pentru Microtehnologie, IMT București: nicolae.varachiu@imt.ro; nicolae.varachiu@gmail.com.

***Dr. Nicolae Varachiu** este expert proprietate intelectuală și transfer tehnologic în cadrul proiectului TGE PLAT.

Are o lungă experiență în cercetarea aplicată, publicând peste 50 de lucrări științifice în cărți, jurnale și proceeding-uri. A desfășurat activitate didactică la Universitatea Politehnica București, Academia Tehnică Militară, Universitatea de Arhitectură „Ion Mincu” București; a fost pentru un an profesor invitat la Universitatea Calgary, Canada și 4 ani cercetător asociat (part time) la Universitatea Dormund, Germania.

În februarie 2018 a fost director de proiect de mobilitate în domeniul transferului de tehnologie desfășurat la Toulouse, Franța, în laboratoarele LAAS ale CNRS și la Institute National de Science Applique, unde, în data de 6 iulie 2018 a fost membru într-o comisie doctorală.

Intre 2004 și 2016 a lucrat la Honeywell Intl, șapte ani ca Sr. Research Sci. în cadrul laboratorului global Sensors and Wireless și ultimii șase ani ca Leader Six Sigma pentru EMEA (Europe, Middle East, Africa). Este coautor la 13 patente (US, Wold și European) în domeniul senzorilor și a contribuit cu peste 20 M\$ la dezvoltarea și implementarea de noi produse și procese (NPD/NPI până la nivelul TRL 9 inclusiv) și optimizarea/îmbunătățirea unora existente, în diviziile Aerospace, Transportation Systems, Automation and Control Solutions. În decembrie 2016 a obținut aici certificarea de Six Sigma Master Black Belt.