



UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Strategii de experimentare in laboratorul de cercetare pentru accelerarea drumului spre TRL 7-8-9

Dr. Nicolae Varachiu*, IMT Bucuresti

In articolul *Tehnologie, transfer tehnologic, TRL (Technology Readines Level), inovare – notiuni introductive* (disponibil [aici](#)) prezentam conceptul de maturitate tehnologica TRL – (Technology Readines Level) si semnificatia celor noua nivele. In acelasi articol este prezentat conceptul de **tehnologie** (in acceptiunea WIPO, World Intellectual Property Organization) ca fiind un set de **cunostinte sistematice de fabricare a unui produs sau de acordare a unui serviciu** in industrie, agricultura sau comert. In esenta, cunostintele care definesc o tehnologie trebuie sa indeplineasca, cumulativ, nu separat, trei criterii: sa fie **sistematice** (adica bine organizate, in scopul furnizarii de solutii la o anumita problema), **sa existe intr-un anumit loc** (intr-un *inscris* sau in *intelectul unei persoane*) si, ultimul dar nu cel din urma, **trebuie directionate in vederea atingerii unui scop util** in industrie, agricultura, sanatate, comert, etc., spre beneficiul societatii.

Ca sa indeplineasca aceste trei criterii esentiale, conceptele propuse de laboratoarele de cercetare, pe langa o deschidere adecvata (un exemplu remarcabil de prezentare, de ofertare a tehnologiilor spre transfer, pe pagina de web a MIT -Massachusetts Institute of Technology: <https://tlo.mit.edu/explore-mit-technologies/view-technologies>), respectiva tehnologie trebuie sa fie intr-un stadiu avansat pe scara TRL, respectiv sa fi trecut de nivelele incipiente de maturitate tehnologica, tipice cercetarii de laborator.

Cum este indeobste recunoscut si practic cerut in multe proiecte de cercetare-dezvoltare, laboratoarele de cercetare se opresc la TRL 4 (= validarea componentelor și/sau a ansamblului în condiții de laborator). In continuare laboratorul lanseaza conceptul catre “productie”, respectiv firme, care urmeaza sa se ocupe, cu asistenta mai mare sau mai mica a laboratorului de cercetare, de “industrializarea” conceptului, de lansarea lui intr-o fabricatie de serie stabila. Aceasta este abordarea “clasica”.

Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Apare o întrebare legitimă: “aceasta este singura abordare posibilă?”. Din păcate răspunsul este de multe ori “da, este singura cale”, aceasta abordare “liniară”, în etape succesive și distincte, este încă suficient de larg răspândită, conducând de multe ori la situații de genul:



S-au observat de multe ori neconcordanțe între abordarea tehnologiei (produs/dispozitiv, proces sau serviciu) în laboratorul de cercetare și între condițiile reale de fabricație în întreprinderile industriale de exploatare/utilizare în practica a dispozitivului/produsului, conducând la discuții ca:



Proiect

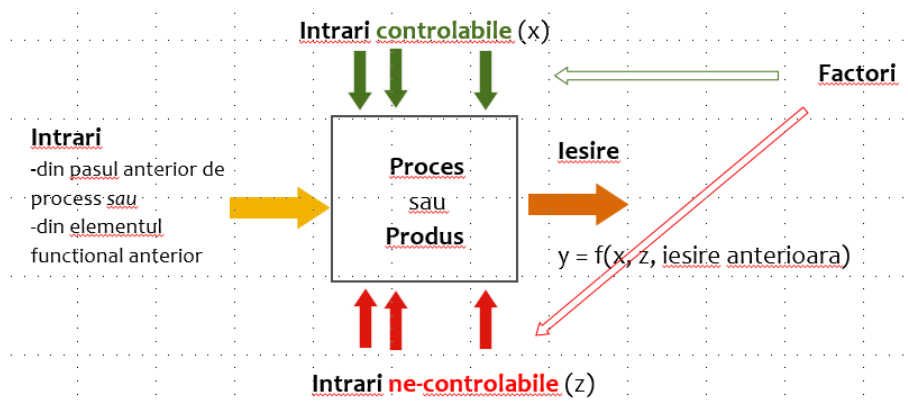
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

O problema, o bariera care apare la incercarea de a transfera o tehnologie (produs sau proces/serviciu) din cercetare catre un beneficiar industrial este, de multe ori, **setul de experimente** de laborator de cercetare care nu tine cont de conditiile reale de fabricatie.

Un **experiment** este constituit dintr-un set de actiuni sistematice de a **manipula variabilele de intrare** intr-un proces *sau* dispozitiv/produs/sistem pentru a **determina/masura raspunsurile la iesire si efectele**; *un raspuns* il reprezinta o valoare punctuala a iesirii pentru o valoare a unei intrari, iar *efect* este diferenta dintre raspunsurile la iesire pentru doua setari diferite ale valorilor de intrare.

Pentru demersurile ulterioare propuse, practica a demonstrat ca este util sa consideram in principal doua mari tipuri de intrari, **controlabile** si **necontrolabile**, pe langa cele generale provenite ca iesiri din etapa anterioara (care in esenta sunt necontrolabile in acceptiunea prezentata in continuare).



Intrari **controlabile** sunt acelea pe care le putem positiona/stabili noi la valoarea dorita (knob variables) iar cele **necontrolabile** sunt acele intrari care pot influenta iesirile procesului sau produsului si vin din exteriorul lor "as is" (asa cum sunt), noi nu le putem influenta valoarea (ca de exemplu temperatura si umiditatea exterioara). Dar, **un element esential pentru accelerarea procesului de trecere la TRL 7-8-9** este ca ele trebuie identificate inca din faza de elaborare concept in laboratorul de cercetare, si **luate toate masurile in faza de conceptie**, ca ele sa nu perturbe iesirile (adica variatiile lor -in limite previzibile totusi, de ex., temperatura externa intre -40C si +40C sau alta gama) sa nu provoace ca valorile de iesire -CTQ, Critical To Quality- sa iasa din specificatii (=cerinte client).

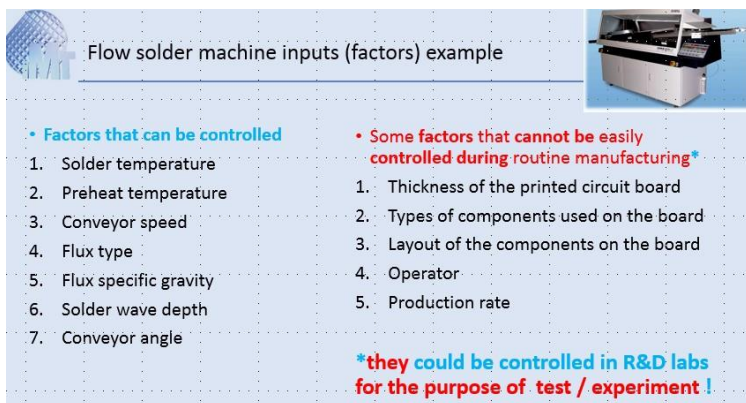
Pentru asta, o colaborare activa cercetator - client (utilizator produs) este esentiala inca din faza de elaborare concept.

Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Prezentăm mai jos un exemplu de **intrari controlabile** si **necontrolabile** pentru o masina si procesul de lipire “in val” a componente electronice pe placa de baza:

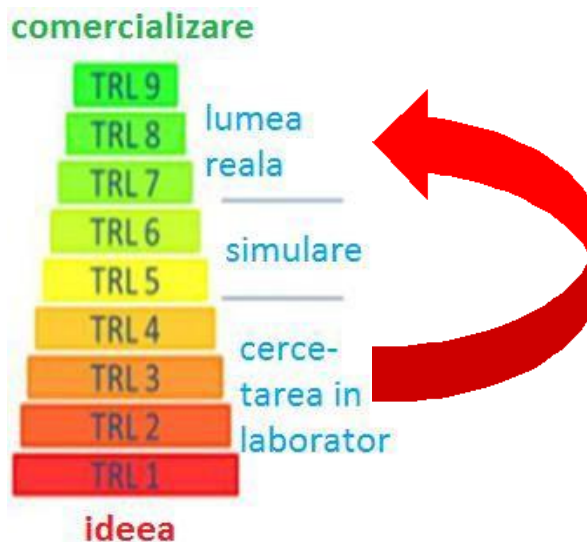


Flow solder machine inputs (factors) example

Factors that can be controlled	Some factors that cannot be easily controlled during routine manufacturing*
1. Solder temperature	1. Thickness of the printed circuit board
2. Preheat temperature	2. Types of components used on the board
3. Conveyor speed	3. Layout of the components on the board
4. Flux type	4. Operator
5. Flux specific gravity	5. Production rate
6. Solder wave depth	
7. Conveyor angle	

*they could be controlled in R&D labs for the purpose of test / experiment !

De remarcat ca, inca din faza de cercetare de laborator, odata identificate ca intrari posibile si ca game, valorile intrarilor (factorilor) **necontrolabili in functionarea din mediul relevant industrial (TRL 5-6-7)** si chiar din **mediul operational (TRL 9)**, pot fi “manipulate” in laborator, adica sa devina intrari controlabile in cadrul experimentelor, testarilor din laboratorul de cercetare. **Se poate realiza astfel o validare precoce a conceptelor**. In esenta, o **trecere conceptual mult mai rapida decat in abordarea “clasica” (liniara), de la laboratorul de cercetare la firme si comercializare:**





UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Exista de ani buni puse la un loc metodologii si unelte specifice pentru aceasta, utilizate cu succes de de corporatii pentru procesele de NPD (New Product Development) si NPI (New Product Introduction) ca: DFSS -Design For Six Sigma, Verification -la fabricantii de cipuri -unde ocupa 80% din efortul total de la stabilirea conceptului la lansarea pe piata- si chiar.

Baza, punctul de plecare pentru aplicarea acestor metodologii, este folosirea **unor strategii** adecvate **de experimentare – testare** (= abordarea generala in planificarea si conducerea unui experiment/testari). Tipurile principale ale acestor *strategii de experimentare* sunt:

- **Incercare si eroare** (Trial and Error / Best-Guess Approach)
- **Un factor o data** (One Factor At a Time –OFAT)
- **Experiment proiectat (DoE - Design of Experiment)**

Le vom prezenta si analiza pe rand avantajele si dezavantajele.

Incercare si eroare (Trial and Error / Best-Guess Approach) este o strategie utilizata frecvent in practica stiintifica si inginereasca. Adesea da rezultate rezonabil de bune deoarece experimentatorii au in multe cazuri cunostinte tehnice si teoretice ale procesului/sistemului pe care il studiaza, impreuna cu o experienta practica. Exista totusi *cel putin doua dezavantaje* ale acestei abordari:

1. Sa presupunem ca incercarea initiala *nu produce un rezultat acceptabil*. Atunci experimentatorul va incerca o alta setare a factorilor de intrare. Acest procedeu poate continua un timp foarte indelungat fara nici o garantie a succesului.
2. Daca incercarea initiala *produce un rezultat acceptabil*, de cele mai multe ori experimentatorul este tentat sa opreasca testele, ne-existand nici o garantie ca a fost gasita cea mai buna solutie.



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

In cadrul strategiei **un factor o data** (One Factor At a Time –**OFAT**) se selectioneaza un punct de plecare (baseline) pentru valorile fiecarui factor de intrare si, succesiv, se variaza fiecare factor cu toti ceilalti factori tinuti la nivelele fixe selectionate initial (din baseline) -OFAT.

Se traseaza apoi si graficele corespunzatoare.

Pe langa informatii utile pe care le aduce despre dependenta iesiri de intrari, *dezavantajul major al acestei strategii* este ca nu poate capta *interactiunile* dintre factorii de intrare.

In multe cazuri aceste interactiuni exista si atunci OFAT produce rezultate slabe. De la aparitia strategiei *experiment proiectat* (DoE *Design of Experiment*) -prezentat in continuare mai jos, s-a dovedit si in practica ca OFAT este intotdeauna mai putin eficienta ca DoE.

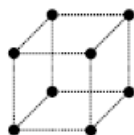
Din pacate exista inca credinta ca aceasta strategie (OFAT) este o metoda stiintifica absoluta, aplicabila in toate cazurile sau ca este un principiu ingineresc “solid”.

Experiment proiectat (DoE - Design of Experiment) este o strategie factorii de intrare considerati in experiment sunt variati impreuna in loc de doar “un factor o data –OFAT”. Impreuna in sensul ca se considera toate combinatiile posibile ale nivelurilor de intrare considerate.

De exemplu, pentru trei intrari / factori

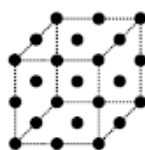
-daca sunt considerate cate doua niveluri pentru fiecare factor de intrare, atunci vom avea;

$$2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ incercari (trials)}$$



-daca sunt considerate trei niveluri pentru fiecare factor, atunci vom avea

$$3 \times 3 \times 3 = 27 \text{ incercari (trials)}$$



Proiect

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

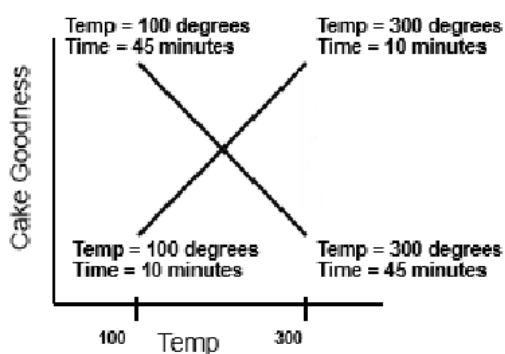
cod SMIS 2014+ 105623

Pentru a intelege mai usor diferenta si specificitatea lor, vom prezenta in paralel abordarea OFAT si DOE intr-un experiment cu trei factori de intare si doua nivele pentru fiecare (notate Low si High, L si H respectiv pentru fiecare):

In abordarea OFAT sunt 4 experimente (fata de baseline L-L-L, doar un factor mai este variat in urmatoarele experimente):	Pe cand in DoE sunt toate combinatiile posibile ale valorilor de intrare (= experiment factorial), $2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$ experimente:
L-L-L	L-L-L
H-L-L;	H-L-L
L-H-L,	L-H-L
L-L-H	H-H-L
	L-L-H
	H-L-H
	L-H-H
	H-H-H (ordinea standard)

**Experimentul factorial
capteaza
si interactiunile
dintre intrari**

Are loc o *interactiune* a doua intrari independente (x_1 si x_2) atunci cand efectul la iesire (in raspuns) datorat variatiei unui factor de intrare (de ex. x_1) depinde de setarea (valoarea) celuiilalt factor (aici x_2). Un exemplu tipic este interactiunea intre *Timpul* si *Temperatura* de coacere pentru raspunsul *Calitatea prajiturii* (Cake Goodness):



Faptul ca doua intrari independente interactioneaza, se reflecta in functia de transfer liniara prin faptul ca ele apar si in produs; pt. exemplul dat mai sus:

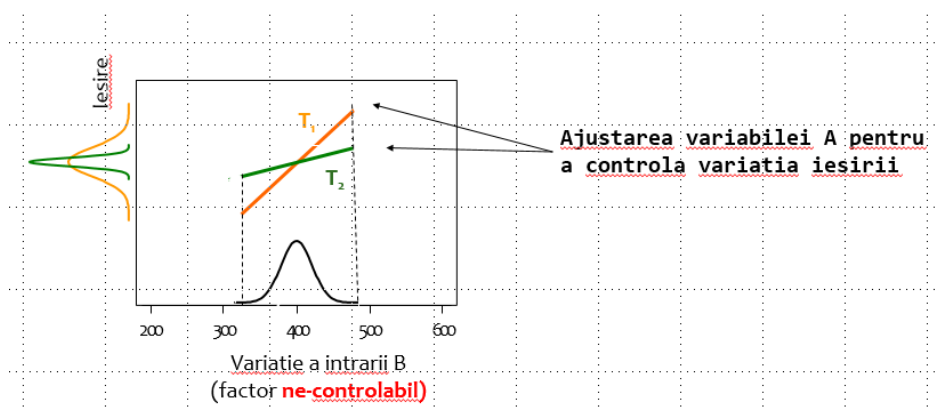
$$\text{Cake Goodness} = a_0 + a_1 \text{Time} + a_2 \text{Temp} + a_{11} \text{Time} \times \text{Temp}$$

Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Utilizarea interacțiunii între factori independenți de intrare este un instrument puternic în reducerea efectelor nedorite la ieșire (ceea ce observa/primește clientul/utilizatorul) ale unor factori de intrare necontrolabili. Presupunem ca în procesul nostru variabila controlabilă A (“knob variable”, de ex. temperatura T), interacționează cu variabila ne-controlabilă B (de ex. umiditatea ambientală):



Este evident că setarea intrării T la valoarea T1 face ca variația ieșirii datorată variației factorului necontrolabil B să fie mult mai mică decât în cazul setării intrării T la valoarea T2. Este un efect de “domolire” a unui factor de intrare necontrolabil.

Această abordare -propusă inițial de Tagguci ca Robust Design - s-a dovedit foarte utilă în practica de cercetare și implementare industrială a noilor produse, la realizarea unor concepte stabile în condițiile reale de fabricare și apoi de operare; o vom detalia în buletinele următoare și vom prezenta exemple de best practice.

**Dr. Nicolae Varachiu este director al Centrului de Transfer Tehnologic al IMT-București, specialist 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 UPB, Acad, Tehnica Militară, Univ. de Arhitectură „Ion Mincu” București și a fost pentru un an profesor invitat la Univ. Calgary, Canada și 4 ani cercetător asociat (part time) la Universitatea Dortmund, 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 Institut National de Science Applique.

Între 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 12 patente (US, World 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 unor existente, în diviziile Aerospace, Transportation Systems, Automation and Control Solutions. În decembrie 2016 a obținut aici certificarea de Six Sigma Master Black Belt.