



UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Conceptul / produsul nou adus la TRL 7-8 încă din laborator, pornind de la ambele „capete”:
nevoia clientului /utilizatorului și capacitatea procesului de fabricație
-studiu de caz-

Dr. Nicolae Varachiu, IMT București

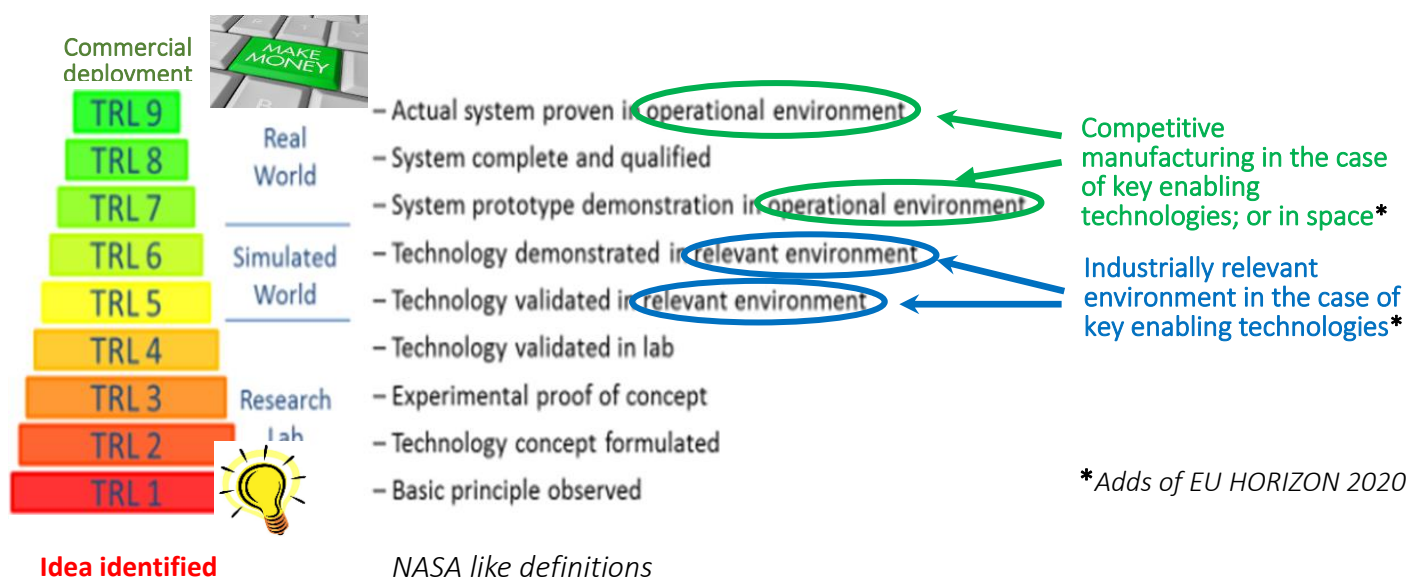
În articolul „Transferul de tehnologie, inovarea și INDUSTRIA 4.0 / Smart Manufacturing” din buletinul #11 al acestei serii -TRANSFERUL TEHNOLOGIC și FIRMELE INOVATIVE: CONCEPTE, METODEDE și INSTRUMENTE ȘTIINȚIFICE SUPT, arătăm că în ultimii ani, legat și de Industria 4.0, practica mondială de dezvoltare de noi produse, tehnologii, de introducerea lor rapidă cu succes pe piață (adică inovarea) a demonstrat utilitatea și eficiența metodologiilor și uneltelor specifice pentru validarea precoce a conceptelor rezultate din activitățile de cercetare-dezvoltare. În articolul *Firmele inovative și managementul inovării* din buletinul #7, reluăm o statistică globală, respectiv că în procesul de inovare doar câteva dintre ideile noi se transformă într-un succes de piață, adică în inovări, respectiv aproximativ *una la trei mii*. Presupunând că partea tehnică, științifică de bază a dezvoltării conceptului este îndeplinită, pentru a compensa în continuare lipsa de abilități de implementare efectivă și/sau execuție operațională defectuoasă care duc la acest raport foarte mic (1:3000), în articolele precedente ale prezentei serii, am prezentat strategii, abordări și metode suport: “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, “Proiectarea robustă (Robust Design), instrument eficient în procesul de transfer tehnologic și inovare”, în buletinul #12. Aceste articole sunt grupate în jurul cunoștințelor și bunelor practici legate de *statistica pentru experimenterii, 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*).

Reamintim în figura următoare definițiile celor 9 nivele ale TRL (Technology Readiness Level), adică a gradului de maturitate tehnologică a unui concept pe parcursul dezvoltării lui, din laboratorul de cercetare-dezvoltare, trecând prin fabricație și până la utilizarea finală în mediul operațional.

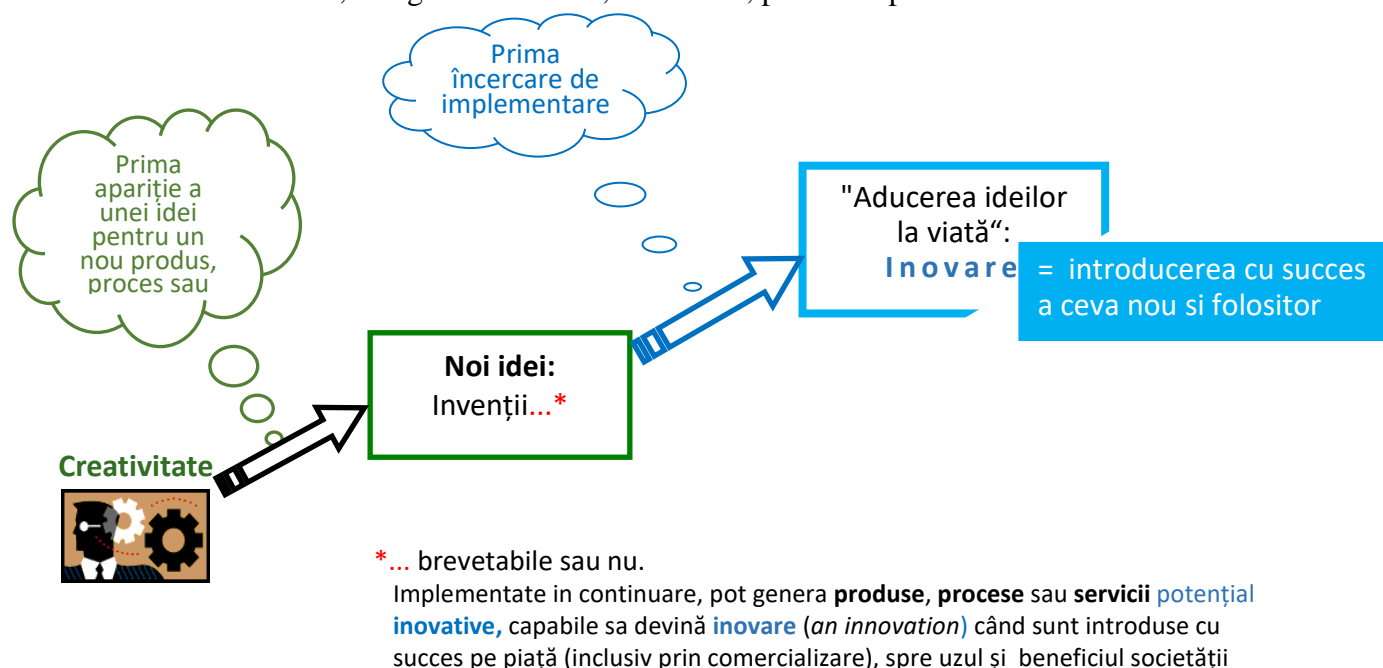
Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623



În paralel cu aceste definiții ale TRL la care vom reveni, este util pentru dezvoltările ulterioare din acest articol să reamintim, în figura următoare, schematic, parcursul procesului de inovare:





UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

În esență, parcursul spre *inovare*, adică *procesul de inovare*, pleacă de la creativitatea care generează idei noi, care, după ce “sunt aduse la viață”, adică aplicate cu succes în practică, transformă potențialul inovativ al ideilor -când există- în *inovare*, spre beneficiul societății. Vom reaminti și 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). Dar nu orice set de cunoștințe se constituie într-o tehnologie, ci doar acelea care îndeplinesc toate cele trei criterii care urmează: 1. *să fie sistematice*, adică bine organizate, în scopul furnizării de soluții la o anumită problemă, 2. *să existe într-un anumit loc*, într-un înscris sau în intelectul unei persoane și 3. *să fie direcționate în vederea atingerii unui scop util* în industrie, agricultură, comerț sau, în general, în societate. Odată creată în laboratoarele de cercetare-dezvoltare, tehnologia este utilă a fi transferată, adică este utilă să aibă loc o mutare, o deplasare a cunoștințelor și descoperirilor științifice (care îndeplinesc cele trei criterii enumerate anterior, tipic create și dezvoltate în laboratoarele de cercetare ale institutelor de profil și din mediul academic), către firme/societate, beneficiarul final fiind publicul larg. Se poate obține astfel *inovarea*, în sensul de a introduce 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.

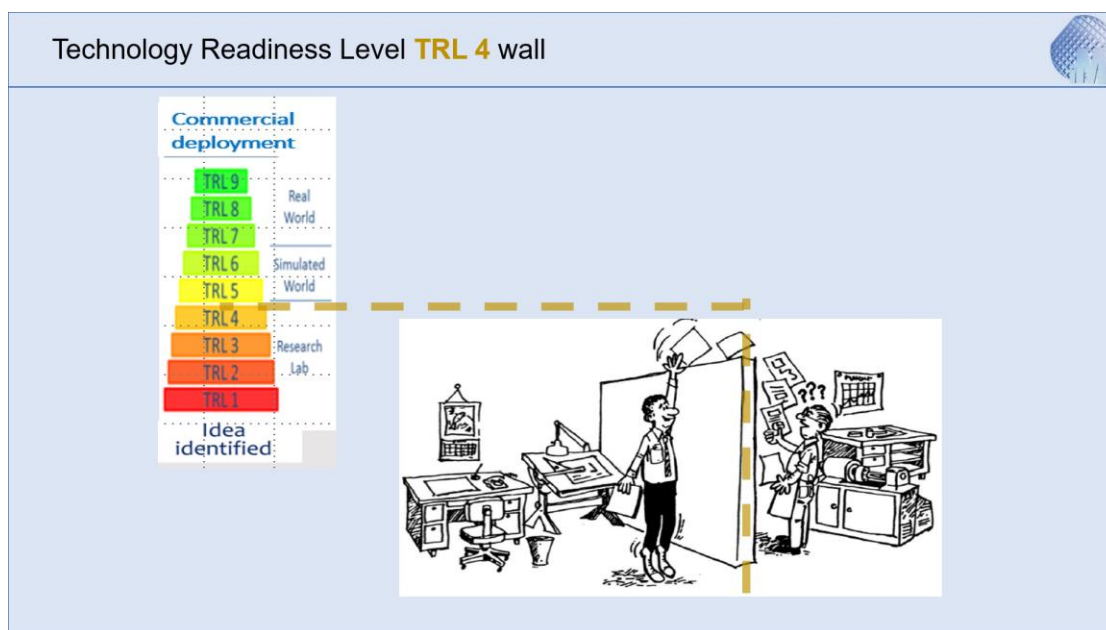
Revenind la scara TRL (Technology Readiness Level) prezentată grafic în pagina anterioară, se observă că, văzând-o nu doar ca o măsură a gradului de maturitate a tehnologiei, ci, cum este frecvent utilizată, și ca pe o scară de parcurgere secvențială, nivelul TRL 4 este cel maxim „prevăzut” în abordarea „clasică”, frecventă, pentru un laborator de cercetare-dezvoltare. Vom arăta în continuare în articol că această abordare secvențială a etapelor poate fi depășită prin abordări de tip inginerie concurentă, mai specific prin abordări de tip Design For Six Sigma (DFSS), prezentate deja în articolele acestei serii, menționate în prima pagină a prezentului articol.

Dar, laboratorul oprindu-se aici, apare frecvent așa numitul *zid TRL4*, de „separare”, mai bine spus lipsă de comunicare între laboratorul de cercetare și atelierele de fabricație efectivă în serii mai mari, ca în figura următoare:

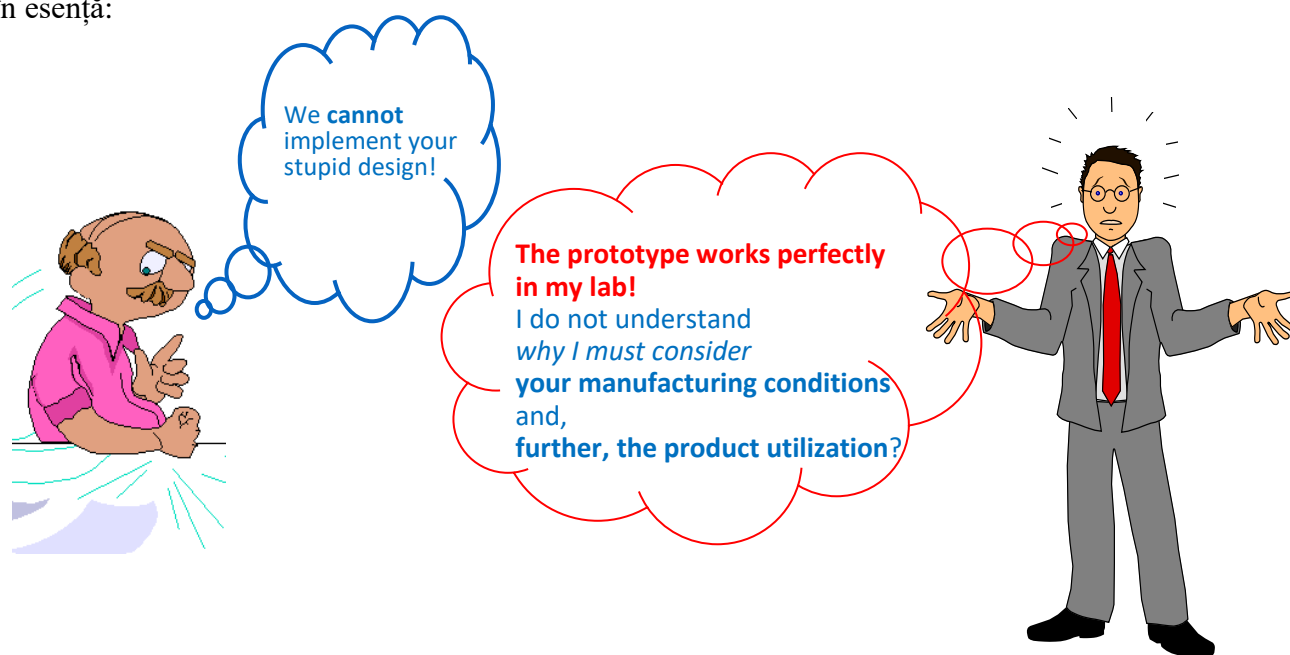
Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623



Iar mai specific, chiar următorul dialog, întâlnit de multe ori, în diferite forme, dar cu același conținut în esență:



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Dacă Homer Simpson ar fi urmărit acest dialog, ar fi exclamat, mai mult ca sigur:



Homer Simpson

Vă las pe dumneavoastră, cititorii, să stabiliți la care dintre cei doi, din dialogul anterior, s-ar fi putut referi simpaticul personaj 😊

Vom merge mai departe să vedem că **există deja soluții, abordări, ca să ieșim din acest impas**, din păcate încă prezent în relația cercetare - industrie. După cum am prezentat în buletinele menționate anterior în prima pagina a acestui articol, respectiv din categoria suport în *statistică pentru experimenterii, DFSS -Design for Six Sigma, verificare, proiectare robustă*, 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.*

Proiect

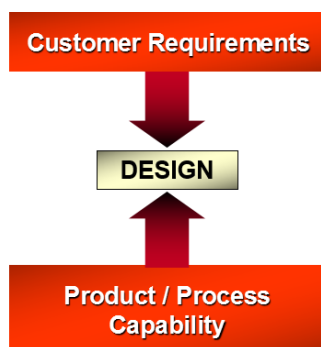
Parteneriat în exploatarea Tehnologiilor Generice Esențiale (TGE), utilizând o
PLATformă de interacțiune cu întreprinderile competitive TGE-PLAT

cod SMIS 2014+ 105623

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 de cercetare-dezvoltare sau universități), vor pune cel puțin două întrebări legitime:

- **cât de manufacturabil este conceptul** (corespunzător TRL 5 și 6)
- **cum se va comporta conceptul în condițiile reale de funcționare, adică în mediul operațional** (corespunzător TRL 7, 8).

Pentru a putea răspunde la aceste întrebări, laboratorul de cercetare-dezvoltare va trebui în primul rând să utilizeze 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 DFSS):



În cercetarea și dezvoltarea noului **concept, produs** (blocul Design din schema de mai sus) trebuie să se țină cont de **cerințele, specificațiile clientului, utilizatorului** (ce livrăm, blocul de sus, Customer Requirements) și de **modul cum va fi fabricat, de specificul tehnologiei utilizate, de așa numita capabilitate a proceselor și a produselor / dispozitivelor care vor fi utilizate pentru fabricația curentă** (blocul de jos Product / Process Capability). Menționăm că de fapt, pentru o inovare de succes, trebuie satisfăcute nevoile clientului, care uneori nu sunt „traduse” corect, corespunzător în cerințe, specificații. De altfel metodologia DFSS începe cu etapa: *înțelegerea nevoilor clientului*. Notați vă rog că este vorba de *nevoi* (pe care va trebui, preferabil și cu asistența clientului, să le „traducem” în *cerințe, specificații concrete*, și de **înțelegerea** nevoilor, nu de preluarea pur și simplu a lor (caz în care am putea face, la limită, ceva foarte bine dar care nu trebuie nimănui).



UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Studiu de caz

Vom prezenta în continuare un studiu de caz în care am implementat efectiv această abordare „la doua capete”, în IMT București; o parte dintre rezultate au fost prezentate la Conferința internațională de semiconductori CAS 2020, eveniment IEEE online, iar lucrarea aferentă a fost publicată în proceeding-ul conferinței (v. bibliografia).

Pornind de la un dispozitiv piezoelectric de captare a vibrațiilor mecanice și transformare a lor în energie electrică, realizat anterior în tehnologia MEMS, precum și de la modelul său asociat, am realizat o optimizare a designului, folosind abordarea „la două capete” (menționată anterior):

- nevoile clientului (vocea clientului) - traduse în cerințele produsului / dispozitivului
- și*
- capacitatea procesului de fabricație disponibil în IMT București

Am folosit metodologia Design Of Experiment (DOE), prezentată în buletinele anterioare (v. articolele menționate în prima pagină), ca strategie experimentală analitică (nu fizică prin realizarea efectivă a rulărilor experimentelor - *run*). Cerințele pentru acest dispozitiv sunt date de sursele de vibrație din mediul pe care l-am considerat (frecvență și accelerație) și de scopul acestuia, care este, în cazul nostru, de a furniza energie electrică (sursa de alimentare) diferitelor blocuri de senzori pentru monitorizarea sănătății structurale (SHM -Structural Health Monitoring) a avioanelor.

Rezultatul este un design optim al dispozitivelor pentru **diferite frecvențe de vibrație mecanică din mediul înconjurător considerat**, asigurând dispozitivelor piezoelectrice frecvența proprie de rezonanță adecvată (cea existentă în locul în care sunt instalate) și puterea electrică de ieșire maximă (optimă) posibilă, luând în considerare și **procesele tehnologice disponibile**, respectiv capacitatea proceselor tehnologice necesare, disponibile în IMT București.



UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

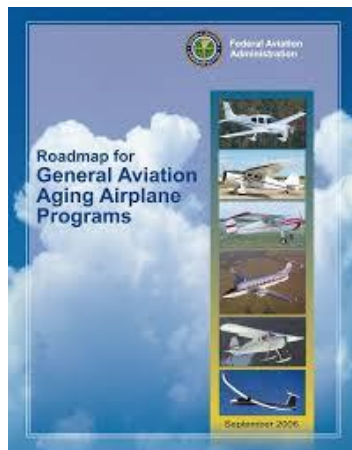
Sa luam pe rând cele „două capete” ale abordării propuse.

Cum este firesc, *pornim de la ce vrem să facem, ce ne propunem să facem vizavi de nevoia clientului.*

Așa cum am precizat, pornim de la o nevoie pe care am identificat-o în lumea reală, înconjurătoare, nu neapărat de la o cerință concretă a unui client concret. În cazul nostru, având deja competența și experiența de a realiza dispozitive piezoelectrice fabricate în tehnologia MEMS pentru captarea energiei din vibrații și transformarea ei în energie electrică (surse de alimentare), am investigat aplicații posibile ale acestor dispozitive, necesare pe piață, SHM pentru aviație fiind în domeniu important și foarte solicitat.

Monitorizarea sănătății structurale (SHM) este un domeniu de interes crescând, cu cele mai notabile aplicații în sistemele de infrastructură aerospațială și de construcții. SHM evaluează starea sănătății structurale și, prin prelucrarea și interpretarea adecvată a datelor, poate prezice durata de viață rămasă a structurii.

Datorită concurenței și nevoii acute de reducere continuă a costurilor în transporturile aeriene, s-a pus problema prelungirii timpului de serviciu al aeronavelor, până la reparațiile capitale sau scoaterea din uz, fiind deja elaborate și manuale, căi de urmat (roadmap), programe pentru aviație, în problema prelungirii vieții active, în serviciu, a aeronavelor (aging airplane), un exemplu fiind manualul de mai jos al Autorității aeronautice federale americane:



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Prelungim viața aeronavelor, dar, pentru că în aviație „safety first”, s-a pus imediat problema monitorizării continue a stării de „sănătate” a structurii aeronavei, în special după timpul la care s-a considerat că ar trebui să intre în revizii parțiale sau la reparații capitale sau chiar să iasă din uz după standardele „clasice” de timp de aflare în serviciu al aeronavelor; care, în cea mai mare măsură, se bazează pe perioade de timp stabilite pe observații statistice, pe perioade lungi de timp și nu pe starea efectivă a respectivei aeronave la momentul respectivei acțiuni (revizie, etc.). Așa a apărut conceptul de SHM care a presupus, pentru siguranță maximă, desfășurarea unui număr foarte mare de senzori de-a lungul structurii aeronavei și interogarea lor continuă (de fapt la intervale de timp scurte, regulate, conform locului specific în care au fost montate).

La baza unui sistem SHM se află o rețea de senzori, în special o rețea de senzori fără fir (WSN - Wireless Sensors Network). Prin urmare, un WSN ar putea fi utilizat cu ușurință în aplicații aerospațiale, unde absența firelor duce la o reducere semnificativă a greutateii, a costurilor cu sute de kilometri de cabluri, precum și în cele de infrastructură de construcții civile, unde nu este întotdeauna posibilă conectarea fizică facilă a senzorilor prin fire.

Paradoxal la prima vedere, *prelungirea vieții de serviciu a aeronavelor* nu duce doar la scăderea costurilor, dar **prin implementarea unui sistem adecvat SHM, crește remarcabil siguranța în funcționare a aeronavei**. În abordarea clasică, inspecția de integritate a structurii unei aeronave este vizuala în proporție de 80%, iar multe zone „ascunse” sunt practic inaccesibile inspecției.

Prin desfășurarea unei rețele de senzori (WSN) devin accesibile monitorizării, în timp real, în zbor, nu doar foarte multe puncte de măsură, dar și multe puncte aflate în locuri critice și practic inaccesibile (sau foarte greu accesibile inspecției clasice):





UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

În plus față de monitorizarea pentru siguranță, datele colectate în timp real, în exploatarea aeronavei (zbor), furnizează informații de mare valoare, feedback, pentru a îmbunătăți cercetarea-dezvoltarea, proiectarea și fabricarea viitoarelor tipuri de aeronave. Legat de acest aspect, îmi aduc aminte de o glumă de prin anii 80 ai secolului trecut: la un centru de cercetare proiectare aeronave din fosta Uniune Sovietică, nu reușeau, pentru un nou model mai îndrăzneț de avion militar, să depășească problema secționării aripilor la îmbinarea cu fuzelajul, la o viteză foarte mare și manevre bruște de schimbare a direcției de zbor. S-a afișat la „gazeta de perete” că se oferă un premiu pentru cine vine cu o soluție salvatoare. Nimeni nu mai avea nici o idee. Dar vine într-o zi femeia de serviciu și zice: știu eu ce să faceți să nu se mai rupă; dați mai multe găuri mici, în linie, la îmbinare. Disperați, deși părea o soluție absurdă, proiectanții fac așa și duc apoi prototipul la tunelul de testare. Surpriză de proporții, totul merge perfect! Se duc cu toții la femeia de serviciu și o întreabă? Bravo!, uite premiul, dar spune-ne cum și-a venit ideea asta genială? Și femeia de serviciu: simplu, dintr-o îndelungată observație practică, hârtia noastră igienică, când se găsește, nu se rupe NICIODATA la perforații 😊 (pentru cititorii mai tineri le spun că și la noi în țară se găsea foarte greu hârtie igienică prin anii 80 și se rupea oriunde altundeva decât la perforații 😞).

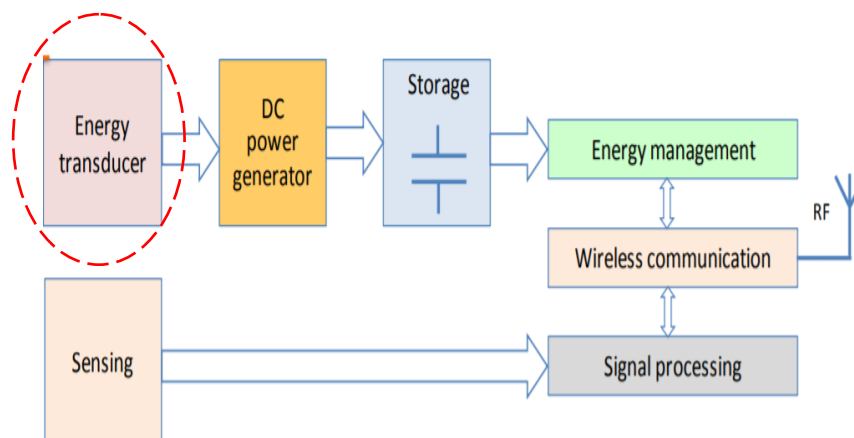
Revenind la funcționarea unei WSN, trebuie să luăm în considerare și alimentarea senzorilor și a transmițătorilor radio pentru o soluție wireless: pentru un senzor și/sau transmițătorul radio asociat ar putea fi o baterie locală sau un „producător” local de energie electrică prin captarea și transformarea altei forme de energie (mecanică, termică, luminoasă), sau o soluție hibridă între cele două. Deoarece o baterie trebuie înlocuită la un moment dat, o opțiune care implică o captare de energie pare mai de dorit pentru aplicațiile cu foarte mulți senzori și cu acces fizic limitat, incomod la senzori, transmițători radio și la eventualele baterii. De exemplu, considerând vibrațiile din mediul înconjurător WSN din aeronave, o posibilă sursă de energie care poate fi captată o constituie giroscopurile. Motoarele giroscopice sunt fabricate din materiale grele și sunt proiectate să se rotească la viteze ridicate (9000-30000 RPM), deoarece stabilitatea unui giroscop crește proporțional cu orice creștere a masei sau a vitezei rotorului. Aceasta înseamnă că ar putea genera vibrații cu o frecvență de până la 500Hz.

Proiect

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

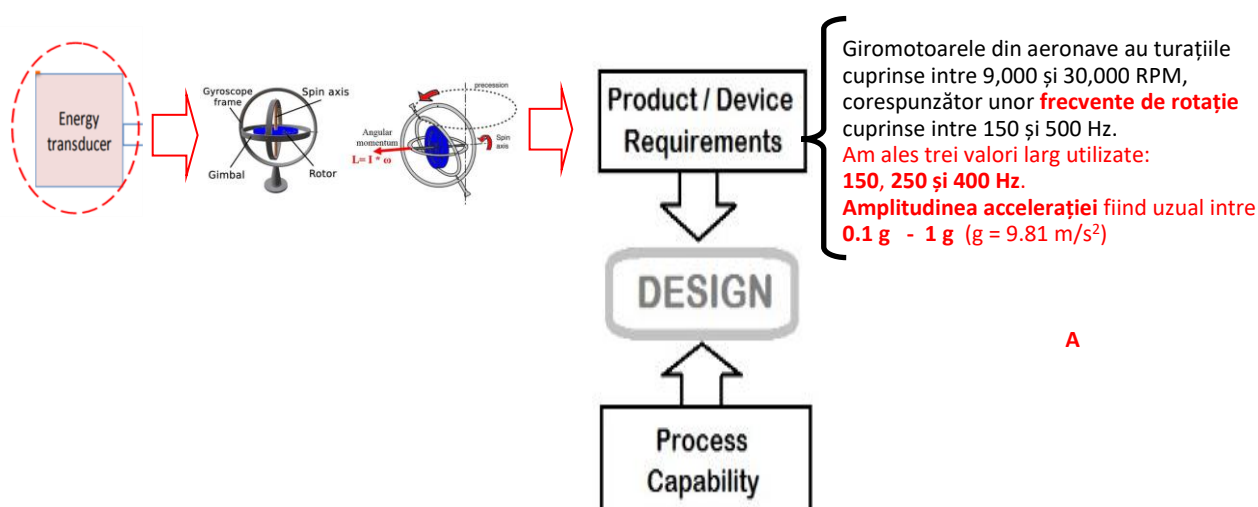
cod SMIS 2014+ 105623

Prezentăm în figura de mai jos schema bloc generală a unui nod / celulă de baza din WSN:



Demersul nostru se refera la blocul înconjurat cu linie roșie întreruptă, și anume la „traductorul” de energie (Energy transducer), în particular la captorul de energie mecanica din vibrațiile giromotorului și transformarea ei, prin efect piezoelectric, în energie electrica furnizata generatorului de curent continuu (DC power generator in schemă) pentru alimentarea blocurilor cu dispozitive electronice active din celula.

Reluăm schema de abordare „la doua capete” a dezvoltării conceptului (in blocul Design), notând „capătul” / blocul superior ca Product / Device Requirements (mai specific cazului nostru), prezentând „cascadarea” spre cerințele / specificațiile dispozitivului pe care îl dezvoltăm / proiectăm:



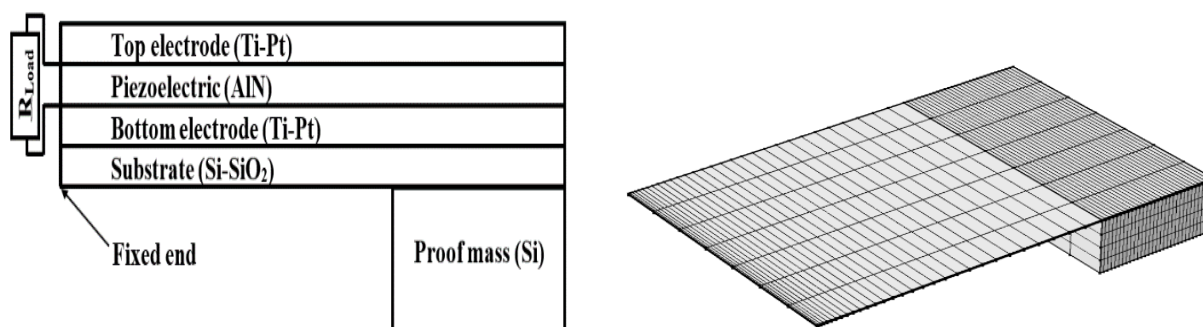
Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Dispozitivele piezoelectrice sunt utilizate în mare măsură pentru captarea energiei de la vibrațiile mecanice din aeronave (în special de la motoarele giroscopice - giromotoare) în scopul alimentării celulelor / nodurilor din WSN pentru SHM, fiind de asemenea compatibile cu mediul dur, ostil (*harsh environment*) din aeronave, respectiv nivel ridicat de vibrații, temperatură și presiuni extreme.

Prezentăm mai jos schema bloc și modelul 3D a unui asemenea dispozitiv piezoelectric proiectat și realizat în IMT București, în esență un cantilever realizat în tehnologie MEMS, acoperit cu un strat piezoelectric:



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} și P) pentru fiecare rulare (*run*), așa cum vom prezenta în tabelul următor.

Ieșirile DOE sunt cele două caracteristici cerute pentru acest dispozitiv, respectiv

F_{rez} - frecvența de rezonanță mecanică proprie a dispozitivului (în Hz)

și

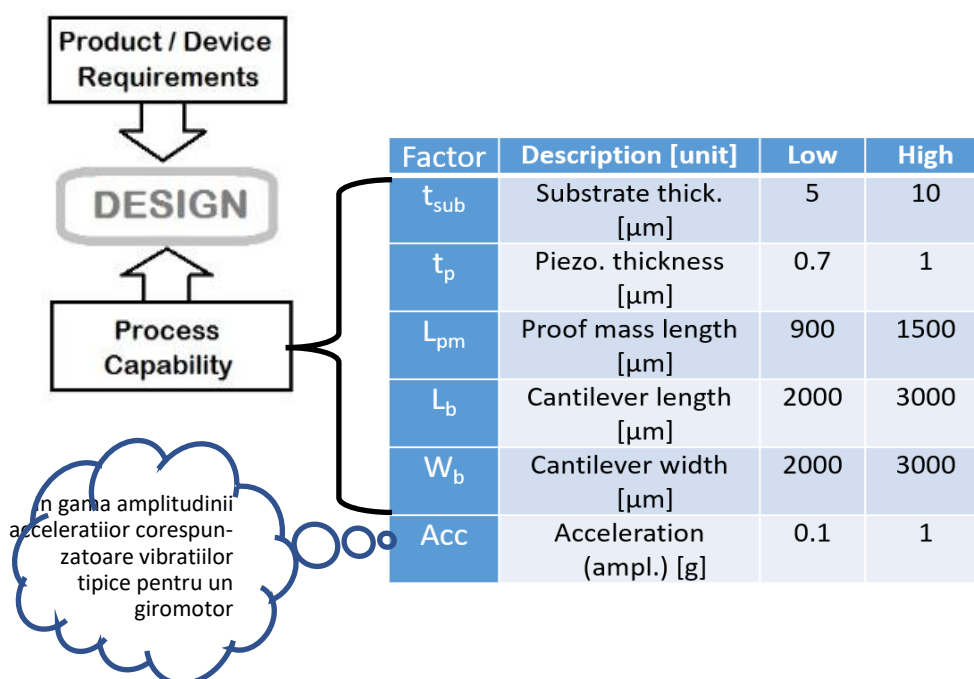
P – puterea livrată într-o sarcină adaptată (în μW)

Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Urmărind structura dispozitivului, considerăm în tabelul de mai jos factori de intrare pentru DOE cu valorile Low și High corespunzătoare valorilor posibile a fi realizate în tehnologia MEMS specifică din IMT București, iar pentru amplitudinile accelerației o gamă de valori tipice giromotoarelor utilizate în aviație:



Remarcați va rog că alegerea acestor valori, Low și High respectiv pentru fiecare factor de intrare, reprezintă abordarea dezvoltării / proiectării dispozitivului de la „al doilea capăt”, respectiv cel care reprezintă capacitatea procesului de fabricație (Process Capability), așa cum este pus în evidență în figura de mai sus.

Conform celor prezentate și în buletinele anterioare (v. în prima pagină a acestui articol), pentru un DOE cu 6 factori de intrare, fiecare având două valori considerate (notate Low și High) avem

$$2^6 = 64 \text{ rulări / experimente (runs)}$$



UNIUNEA EUROPEANĂ

Instrumente Structurale
2014 - 2020

Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Urmare a introducerii tuturor celor 64 de combinații ale intrărilor și rulării în Comsol a modelului cu aceste valori, s-au obținut următoarele valori pentru F_{rez} și P :

Run	tsub	tp	Lpm	Lc	Wcant	Acc	Frez	P
1	5.0	0.70	900	2000	2000	0.10	323.3	0.01580
2	10.0	0.70	900	2000	2000	0.10	729.2	0.00645
3	5.0	1.00	900	2000	2000	0.10	354.9	0.01470
4	10.0	1.00	900	2000	2000	0.10	777.1	0.00655
5	5.0	0.70	1500	2000	2000	0.10	366.6	0.01470
6	10.0	0.70	1500	2000	2000	0.10	825.1	0.00574
7	5.0	1.00	1500	2000	2000	0.10	402.6	0.01420
8	10.0	1.00	1500	2000	2000	0.10	878.6	0.00601
9	5.0	0.70	900	3000	2000	0.10	155.4	0.03600
10	10.0	0.70	900	3000	2000	0.10	350.0	0.01510
11	5.0	1.00	900	3000	2000	0.10	170.0	0.02870
12	10.0	1.00	900	3000	2000	0.10	372.7	0.01530
13	5.0	0.70	1500	3000	2000	0.10	143.5	0.05580
14	10.0	0.70	1500	3000	2000	0.10	325.6	0.02280
15	5.0	1.00	1500	3000	2000	0.10	157.3	0.05160
16	10.0	1.00	1500	3000	2000	0.10	347.1	0.02320
17	5.0	0.70	900	2000	3000	0.10	324.0	0.02380
18	10.0	0.70	900	2000	3000	0.10	731.3	0.00984
19	5.0	1.00	900	2000	3000	0.10	356.1	0.02250
20	10.0	1.00	900	2000	3000	0.10	779.1	0.00996
21	5.0	0.70	1500	2000	3000	0.10	366.8	0.02250
22	10.0	0.70	1500	2000	3000	0.10	825.8	0.00866
23	5.0	1.00	1500	2000	3000	0.10	402.2	0.02150
24	10.0	1.00	1500	2000	3000	0.10	879.8	0.00588
25	5.0	0.70	900	3000	3000	0.10	154.1	0.05440
26	10.0	0.70	900	3000	3000	0.10	350.3	0.02320
27	5.0	1.00	900	3000	3000	0.10	169.1	0.04140
28	10.0	1.00	900	3000	3000	0.10	372.9	0.02320
29	5.0	0.70	1500	3000	3000	0.10	144.7	0.08580
30	10.0	0.70	1500	3000	3000	0.10	326.6	0.03480
31	5.0	1.00	1500	3000	3000	0.10	157.5	0.08070
32	10.0	1.00	1500	3000	3000	1.00	347.7	0.03560
33	5.0	0.70	900	2000	2000	1.00	323.3	1.58000
34	10.0	0.70	900	2000	2000	1.00	729.2	0.64600
35	5.0	1.00	900	2000	2000	1.00	354.9	1.47000
36	10.0	1.00	900	2000	2000	1.00	777.1	0.65500
37	5.0	0.70	1500	2000	2000	1.00	366.6	1.47000
38	10.0	0.70	1500	2000	2000	1.00	825.1	0.57400
39	5.0	1.00	1500	2000	2000	1.00	402.6	1.42000
40	10.0	1.00	1500	2000	2000	1.00	878.6	0.60100
41	5.0	0.70	900	3000	2000	1.00	155.3	3.59000
42	10.0	0.70	900	3000	2000	1.00	350.0	1.51000
43	5.0	1.00	900	3000	2000	1.00	169.9	2.90000
44	10.0	1.00	900	3000	2000	1.00	372.7	1.53000
45	5.0	0.70	1500	3000	2000	1.00	143.5	5.58000
46	10.0	0.70	1500	3000	2000	1.00	325.6	2.28000
47	5.0	1.00	1500	3000	2000	1.00	157.3	5.16000
48	10.0	1.00	1500	3000	2000	1.00	347.1	2.32000
49	5.0	0.70	900	2000	3000	1.00	324.0	2.38000
50	10.0	0.70	900	2000	3000	1.00	731.3	0.98400
51	5.0	1.00	900	2000	3000	1.00	356.1	2.25000
52	10.0	1.00	900	2000	3000	1.00	779.1	0.99600
53	5.0	0.70	1500	2000	3000	1.00	366.8	2.25000
54	10.0	0.70	1500	2000	3000	1.00	825.8	0.86500
55	5.0	1.00	1500	2000	3000	1.00	402.2	2.15000
56	10.0	1.00	1500	2000	3000	1.00	879.8	0.58800
57	5.0	0.70	900	3000	3000	1.00	154.1	5.44000
58	10.0	0.70	900	3000	3000	1.00	350.3	2.32000
59	5.0	1.00	900	3000	3000	1.00	169.1	3.96000
60	10.0	1.00	900	3000	3000	1.00	372.9	2.32000
61	5.0	0.70	1500	3000	3000	1.00	144.7	8.61000
62	10.0	0.70	1500	3000	3000	1.00	326.6	3.48000
63	5.0	1.00	1500	3000	3000	1.00	157.5	8.07000
64	10.0	1.00	1500	3000	3000	1.00	347.7	3.56000

Proiect cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operațional Competitivitate 2014-2020



IMT București

Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Prin regresie liniară, s-au obținut următoarele funcții de transfer liniare (referitor la coeficienți):

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

Si

$$P = 9.92 - 0.052t_{sub} - 0.0045L_{pm} - 0.004L_b - 0.0015W_b - 13.49Acc + 3.72E-05t_{sub}L_b + \\ + 0.572t_{sub}Acc + 1.73921E-06L_{pm}L_b + 0.0016L_{pm}Acc + 5.58E-07L_bW_b + \\ + 0.006L_bAcc + 0.0011W_bAcc - 4.1E-04t_{sub}L_bAcc$$

Factorii de intrare (precum și toate combinațiile lor aflate în produse de factori) care lipsesc din funcțiile de transfer de mai sus sunt statistic ne semnificativi, adică variația lor, de la valoarea Low până la valoarea High, nu produce un efect (= variație a ieșirii) semnificativ. Acest lucru reprezintă faptul că pentru acei factori poate fi aleasă orice valoare în interiorul gamei, adică de la valoarea Low până la cea High, respectiv o valoare care optimizează alte criterii decât robustețea (=optimizarea variației corespunzătoare a ieșirilor la variațiile de intrare): de exemplu se poate considera aici minimizarea costurilor.

Având aceste funcții de transfer cu dependența ieșirilor (respectiv „capătul” reprezentat de **specificatiile dispozitivului conform nevoilor clientului**) față de factorii de intrare (în concordanță cu capacitatea procesului de fabricație), putem oferi date de proiectare -chiar optimizate- ale dispozitivului, conform tabelului de mai jos:

Obiective		Valori optimizate						
F_{rez} [Hz]	P [μW]	t_{sub} [μm]	L_{pm} [μm]	L_b [μm]	W_b [μm]	Acc [g]	F_{rez} [Hz]	P [μW]
400	max	7.2	1500	2537	3000	1	399.9	3.82
250	max	7.6	1500	2995	3000	1	250	5.2
150	max	5.1	1500	3000	3000	1	150	1.2



UNIUNEA EUROPEANĂ



Proiect

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

cod SMIS 2014+ 105623

Pe parcursul etapei de cercetare-dezvoltare din laborator, în cooperare cu fabricanții și utilizatorii finali ai produsului, chiar cu cei potențiali ai produsului pentru care este implementată/dezvoltată cercetarea aplicativă respectivă, va trebui să se efectueze în continuare o analiză a propagării variațiilor de la intrări la ieșiri. Vom prezenta în buletinele următoare și aceste abordări, metode și vom continua cu exemplificări, inclusiv în continuarea prezentului studiu de caz.

Pentru aplicarea dedicată, efectivă, particulară conform nevoilor firmei dumneavoastră a acestor abordări, metode, vă stau la dispoziție cu orice întrebări și suport ulterior specific proiectului TGE PLAT, precum și în cadrul altor colaborări posibile cu INCD pentru Microtehnologie, IMT București: nicolae.varachiu@imt.ro; nicolae.varachiu@gmail.com.

Bibliografie

VIBRATIONAL ENERGY HARVESTING DEVICES FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING – DESIGN OPTIMIZATION, G.-S. Muscalu^{1,2}, N. Varachiu¹, B. Firtat¹, S. Dinulescu¹, A. Tulbure³, C. Moldovan¹, ¹IMT Bucharest, ²“Politehnica” Univ. of Bucharest, ³Univ. Alba Iulia, Romania, în *Proceedings of Int. Semiconductor Conference - CAS 2020*, pp 151-154.

***Dr. Nicolae Varachiu** este expert transfer tehnologic și proprietate intelectuală în IMT București și în cadrul proiectului TGE PLAT. Are o lungă experiență în cercetarea aplicată, publicând peste 50 de lucrări științifice în cărți, jurnale și proceeding-uri. Desfășoară activitate didactică la Universitatea Politehnica București (UPB), și a desfășurat la 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 Dortmund, Germania. A condus în 2020 stagiul de cercetare practica aplicativa în IMT București pentru un grup de 5 doctoranzi și 2 post-doc ai Scolii Doctorale Electronica din UPB, în cadrul unui proiect POCU de formare în antreprenoriat, A-Succes.

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.

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 13 patente (US, Wold, EU, CN) 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, Specialty Materials. În dec. 2016 a obținut aici certificarea de Six Sigma Master Black Belt.