



UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI  
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA  
INFORMAȚIEI  
SPECIALIZAREA TEHNOLOGII ȘI SISTEME DE TELECOMUNICAȚII

# CAPTAREA ENERGIEI ÎN MICROSISTEME

**Profesor:**

ș.l. dr. ing. DANIELA IONESCU

**Student:**

SECRIERU DMITRI

IAȘI  
2025

# Cuprins

Introducere .....	3
Capitolul 1: Introducere în captarea energiei în micro sisteme .....	4
1.1. Definiția și importanța micro sistemelor .....	4
1.2. Surse de energie utilizabile la scară mică.....	5
1.3 Aplicații ale captării energiei în tehnologiile moderne .....	8
Capitolul 2: Tehnologii și metode de captare a energiei în micro sisteme .....	10
2.1. Captarea energiei mecanice .....	10
2.2. Captarea energiei termice .....	11
2.3. Captarea energiei luminoase .....	11
2.4. Captarea energiei electromagnetice (RF harvesting) .....	12
Capitolul 3: Provocări și perspective în domeniul captării energiei în micro sisteme .....	13
3.1. Limitări tehnologice și materiale utilizate .....	13
3.2. Integrarea cu alte componente ale micro sistemelor .....	14
3.3. Viitorul captării energiei: materiale avansate și soluții inovatoare .....	14
Concluzie.....	15
Bibliografie.....	16

# Introducere

Captarea energiei în micro sisteme reprezintă o inovație tehnologică esențială pentru dezvoltarea dispozitivelor moderne autonome, susținând progresul în domenii variate precum Internetul Lucrurilor (IoT), biomedicină și tehnologii portabile. Creșterea cererii pentru dispozitive miniaturizate, capabile să funcționeze autonom pe perioade îndelungate, a generat un interes crescut pentru soluții sustenabile de alimentare energetică.

Această lucrare explorează în profunzime principiile fundamentale ale captării energiei la scară mică, tipurile de energie care pot fi exploatare și metodele tehnice utilizate pentru conversia acestora în energie electrică. Printr-o analiză detaliată a tehnologiilor actuale, limitărilor și soluțiilor emergente, sunt evidențiate atât provocările, cât și perspectivele de viitor ale acestei tehnologii.

În **Capitolul 1** sunt prezentate conceptele de bază, definiția micro sistemelor și sursele de energie disponibile la scară mică, evidențiind aplicațiile cheie în industriile moderne. **Capitolul 2** explorează în detaliu metodele tehnice utilizate pentru captarea energiei, incluzând energia mecanică, termică, luminoasă și electromagnetică, explicând principiile de funcționare și aplicațiile practice ale fiecărei tehnologii. **Capitolul 3** analizează provocările actuale din domeniu, cum ar fi limitările tehnologice și dificultățile de integrare, dar și perspectivele promițătoare oferite de materialele avansate și soluțiile inovatoare în curs de dezvoltare.

Această lucrare subliniază importanța continuării cercetărilor pentru a depăși limitările existente și pentru a permite o tranziție către dispozitive cu adevărat autonome și eficiente energetic, capabile să contribuie la sustenabilitatea globală.

# Capitolul 1: Introducere în captarea energiei în micro sisteme

Captarea energiei în micro sisteme reprezintă un domeniu din ce în ce mai explorat, având aplicații în diverse industrii, de la electronica portabilă până la dispozitive biomedicale. Creșterea utilizării dispozitivelor autonome și miniaturizate a generat o nevoie acută de soluții energetice sustenabile care să permită funcționarea acestora fără baterii voluminoase sau surse externe de alimentare.

Acest capitol explorează conceptul de captare a energiei la scară mică, incluzând definiția și importanța micro sistemelor, sursele de energie disponibile pentru aceste dispozitive, precum și aplicațiile lor în tehnologiile moderne.

## 1.1. Definiția și importanța micro sistemelor

Micro sistemele sunt dispozitive de dimensiuni foarte mici, adesea bazate pe tehnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), care combină componente mecanice, electronice și, uneori, optice. Aceste sisteme sunt utilizate într-o varietate de aplicații, precum senzori, actuatori și dispozitive biomedicale.

**Caracteristici principale ale micro sistemelor și comparație a acestora cu alte dispozitive similare:**

Dispozitiv	Dimensiuni	Integrarea mai multor funcții	Eficiență energetică
<b>Micro sisteme (MEMS)</b>	Foarte mici, de ordinul micronilor, ideale pentru dispozitive miniaturizate.	Da, pot îngloba senzori, actuatori și circuite într-un singur dispozitiv.	Foarte eficient, consum redus de energie pentru operare autonomă.
<b>Senzori Tradiționali</b>	Dimensiuni variabile, de la senzori simpli la senzori de dimensiuni medii.	Limitată, majoritatea senzorilor tradiționali au o singură funcție.	Ineficient, necesită surse de alimentare externe constante.
<b>Cipuri Electronice</b>	Dimensiuni reduse, dar mai mari decât MEMS, folosite în circuite complexe.	Da, capabile să integreze mai multe funcții de procesare și stocare.	Eficient, dar poate consuma mai mult în aplicații complexe.
<b>Implanturi Biomedicale</b>	Dimensiuni moderate, adaptate pentru utilizarea în corpul uman.	Parțial, pot integra senzori și module de comunicare în anumite cazuri.	Moderată, balans între funcționalitate și consum redus de energie.
<b>Dispozitive IoT</b>	Dimensiuni compacte, adaptate pentru integrarea în dispozitive smart.	Da, frecvent utilizează mai mulți senzori și moduli de comunicare.	Foarte eficient, optimizat pentru operare pe termen lung cu consum mic.

Tabel 1.1.1 Tabel comparativ detaliat între dispozitive.

**Importanța microsistemelor:** Microsistemele permit dezvoltarea de tehnologii avansate, cum ar fi dispozitivele medicale implantabile, senzorii pentru Internet of Things (IoT) și sistemele autonome de monitorizare. Acestea contribuie la reducerea consumului de resurse, creșterea preciziei și îmbunătățirea calității vieții.

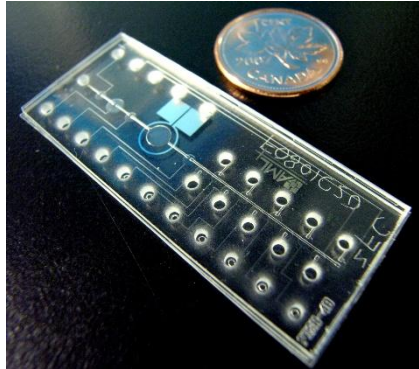


Fig 1.1.2 Exemplu de MEMS folosit în Biomedicină

## 1.2. Surse de energie utilizabile la scară mică

Pentru funcționarea autonomă a microsistemelor, este esențial să se identifice surse de energie care să fie disponibile în mediul înconjurător. Aceste surse pot fi captate și convertite în energie electrică pentru a alimenta dispozitivele.

### Surse principale de energie:

1. **Energie mecanică** – Energia generată de vibrații, mișcări sau presiuni poate fi captată cu ajutorul materialelor piezoelectrice sau al mecanismelor bazate pe forțe elastice.

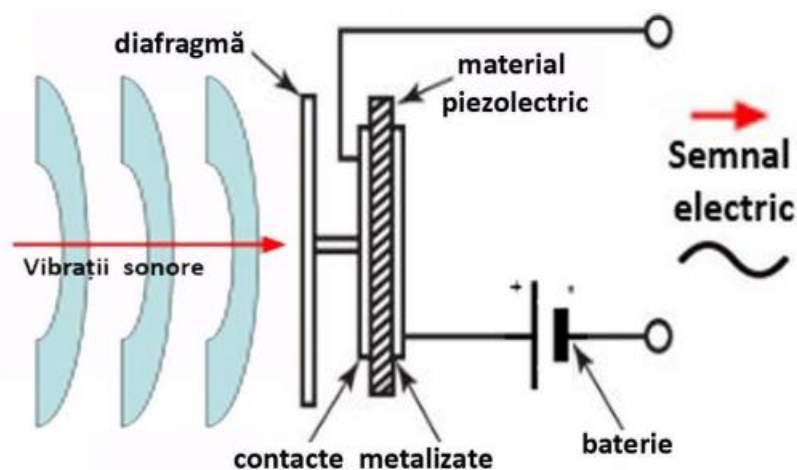


Fig 1.2.1 Microfonul cu cristal piezoelectric

2. **Energie termică** – Diferențele de temperatură pot fi utilizate prin intermediul generatorilor termoelectrice, care exploatează efectul Seebeck.

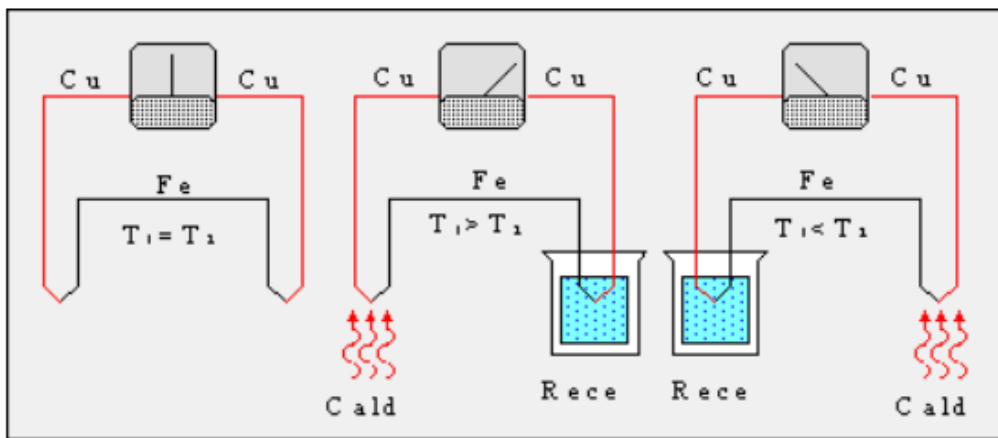


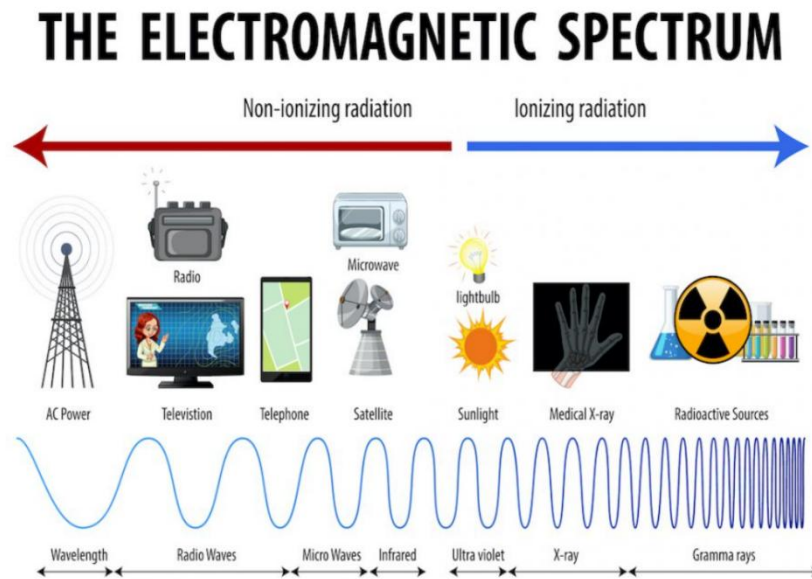
Fig 1.2.2 Generarea tensiunii termoelectrice prin aplicarea unei diferente de temperatura unui dispozitiv cu 2 metale diferite.

3. **Energie luminoasă** – Panourile fotovoltaice miniaturizate pot transforma lumina solară sau artificială în energie electrică.



Fig 1.2.3 Corp de iluminare stradal cu panou fotovoltaic reglabil.

4. **Energie electromagnetică** – Semnalele radiofrecvente (RF) din mediu pot fi captate pentru a furniza energie la scară mică.



*Fig 1.2.4 Spectru electromagnetic.*

#### **Provocări:**

- **Conversia eficientă a energiei disponibile:** Este adesea dificil să se maximizeze captarea și conversia energiei din surse limitate sau variabile, cum ar fi vibrațiile sau diferențele de temperatură reduse. Eficiența conversiei poate fi afectată de pierderile în materiale sau de designul suboptimal al componentelor.
- **Integrarea surselor de energie în micro sisteme fără a compromite performanța:** Adăugarea modulelor de captare a energiei poate crește dimensiunea și complexitatea sistemului, afectând performanța generală și fiabilitatea acestuia. Este necesară o proiectare optimizată pentru a asigura un echilibru între dimensiune, eficiență energetică și performanță funcțională.

### 1.3 Aplicații ale captării energiei în tehnologiile moderne

Microsistemele autonome alimentate prin captarea energiei au o gamă largă de aplicații în diverse domenii.

#### Aplicații cheie:

##### 1. Dispozitive biomedicale:

- Sensori implantabili pentru monitorizarea parametrilor vitali (de exemplu, ritm cardiac sau nivelul de oxigen).
- Dispozitive de administrare a medicamentelor controlate de la distanță.

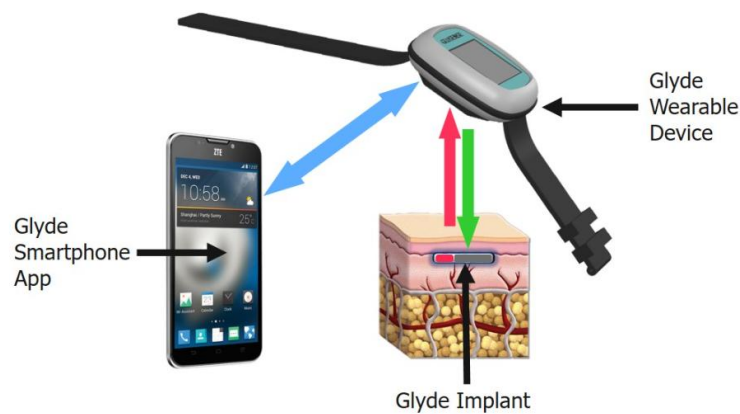


Fig 1.3.1 Glyde – senzor glicemic implantabil din celule vii.

##### 2. Internet of Things (IoT):

- Sensori pentru monitorizarea mediului (ex. temperatură, umiditate).
- Dispozitive de automatizare a locuințelor și a spațiilor industriale.



Fig 1.3.2 Modul în care tehnologia IoT transformă orașele.



### 3. Industria auto:

- Senzori de monitorizare a presiunii în pneuri.
- Sisteme autonome de siguranță și eficiență energetică.



Fig 1.3.3 Sistem de monitorizare a presiunii în anvelope.

### 4. Tehnologiile portabile:

- Ceasuri inteligente, brățări fitness.
- Dispozitive de urmărire a activității fizice.

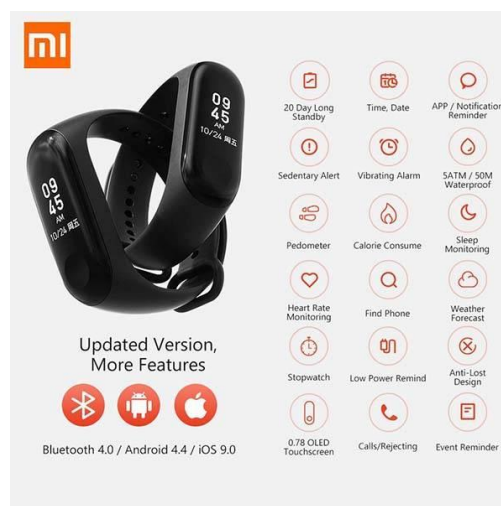


Fig 1.3.4 Brățară fitness.

Captarea energiei la scară mică joacă un rol esențial în creșterea autonomiei acestor dispozitive și în reducerea dependenței de baterii convenționale, promovând astfel sustenabilitatea și eficiența energetică.

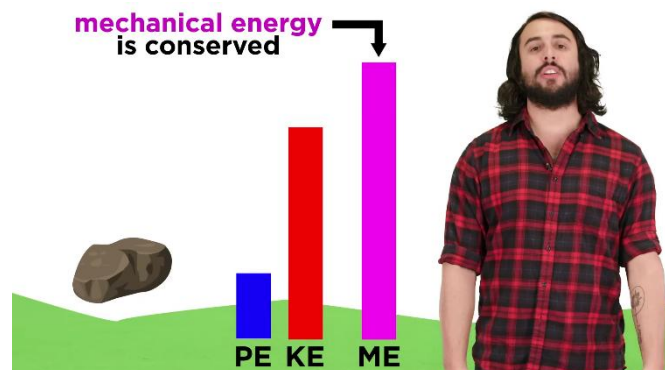
## Capitolul 2: Tehnologii și metode de captare a energiei în microsisteme

Captarea energiei în microsisteme se realizează prin mai multe tehnologii și metode inovatoare care permit alimentarea dispozitivelor autonome folosind energia disponibilă în mediul înconjurător.

### 2.1. Captarea energiei mecanice

Captarea energiei mecanice implică utilizarea vibrațiilor, mișcărilor sau presiunii pentru generarea de energie electrică. Aceasta se poate realiza prin efecte piezoelectrice, electrostatice și magnetice.

- **Materiale piezoelectrice:** Generarea de energie electrică prin deformarea mecanică a materialelor precum cuarțul și PZT (plumb-zirconat-titanat). Aceste materiale sunt ideale pentru dispozitive portabile și senzori autonomi datorită capacității de a converti energie mecanică în electricitate cu pierderi reduse.
- **Generatoare electrostatice:** Exploatarea fenomenului de inducție electrostatică pentru captarea energiei din mișcări relative, frecvent utilizată în aplicații unde sunt prezente forțe triboelectrice.
- **Generatoare electromagnetice:** Utilizarea mișcării unui magnet printr-o bobină pentru a induce un curent electric, adesea aplicată în dispozitive de vibrație ambientală.



Link către video: <https://www.youtube.com/watch?v=OTK9JrKC6EY&t=58s>

#### Aplicații:

- Dispozitive portabile pentru urmărirea activității fizice.
- Senzori de monitorizare a structurilor în construcții.
- Dispozitive medicale de detecție a mișcărilor.

## 2.2. Captarea energiei termice

Captarea energiei termice se bazează pe conversia diferențelor de temperatură în energie electrică, utilizând efecte termo-electrice precum efectul Seebeck.

- **Efectul Seebeck:** Crearea unei tensiuni electrice între două metale diferite expuse la o diferență de temperatură, utilizată pentru generarea de curent continuu în circuite miniaturizate.
- **Materiale termo-electrice:** Utilizarea unor aliaje precum  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  (telurura de bismut) pentru conversia eficientă a căldurii în energie electrică, aplicabile în sisteme de monitorizare industrială.



Link către video: <https://www.youtube.com/watch?v=l-Puj0uyCAg>

### Aplicații:

- Monitorizarea echipamentelor industriale prin conversia deșeurilor termice în energie utilă.
- Dispozitive biomedicale implantabile pentru monitorizarea temperaturii corpului.
- Alimentarea senzorilor în medii izolate termic.

## 2.3. Captarea energiei luminoase

Captarea energiei luminoase implică utilizarea celulelor fotovoltaice pentru transformarea luminii în energie electrică.

- **Celule fotovoltaice miniaturizate:** Adaptate pentru a funcționa cu niveluri scăzute de iluminare, ideale pentru dispozitive de interior.
- **Tehnologii avansate:** Utilizarea celulelor fotovoltaice pe bază de perovskit pentru o eficiență crescută și costuri reduse.



Link către video: [https://www.youtube.com/watch?v=hw2\\_hEMgE4o](https://www.youtube.com/watch?v=hw2_hEMgE4o)

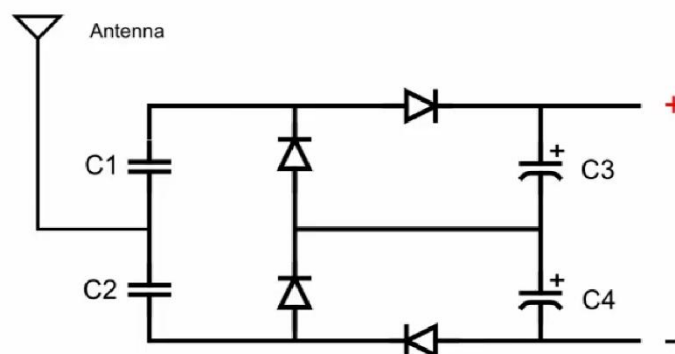
### Aplicații:

- Senzori de mediu pentru măsurători de luminozitate și temperatură.
- Dispozitive IoT pentru automatizări casnice și controlul iluminatului.
- Dispozitive medicale de monitorizare continuă a pacienților.

### 2.4. Captarea energiei electromagnetice (RF harvesting)

Captarea energiei electromagnetice implică extragerea energiei din undele radio ambientale pentru alimentarea microsistemelor.

- **Antene RF:** Dispozitive special concepute pentru a capta energia undelor radio din mediul înconjurător.
- **Redresoare și circuite de stocare:** Conversia energiei RF captate în energie electrică utilizabilă și stocarea acesteia în condensatori sau supercondensatori.



Link către video: <https://www.youtube.com/watch?v=XpLCK88nVgU&t=5s>

## **Aplicații:**

- Senzori fără fir pentru monitorizare industrială.
- Etichete RFID folosite în logistică și inventariere.
- Dispozitive medicale portabile pentru urmărirea datelor pacientului.

## **Capitolul 3: Provocări și perspective în domeniul captării energiei în micro sisteme**

Captarea energiei în micro sisteme reprezintă o direcție esențială în evoluția tehnologiilor moderne, având potențialul de a contribui la dezvoltarea dispozitivelor complet autonome și sustenabile. Această tehnologie joacă un rol crucial în numeroase aplicații, de la dispozitive biomedicale la senzori pentru Internetul Lucrurilor (IoT) și monitorizarea industrială. Cu toate acestea, există o serie de provocări care trebuie depășite pentru a permite o implementare eficientă și de durată a acestor sisteme.

### **3.1. Limitări tehnologice și materiale utilizate**

Unul dintre principalele obstacole în captarea energiei la scară mică este limitarea eficienței materialelor utilizate. Materialele piezoelectrice, termo-electrice și fotovoltaice pot prezenta pierderi semnificative de conversie a energiei, iar eficiența globală este adesea suboptimă. De asemenea, miniaturizarea componentelor poate duce la pierderi de energie și reducerea durabilității materialelor, ceea ce necesită o atenție sporită în procesul de proiectare și selecție a materialelor.

O altă limitare importantă este stabilitatea materialelor pe termen lung, în special în aplicații expuse la condiții de mediu variate, cum ar fi umiditatea, temperaturile extreme și expunerea la substanțe chimice. Costurile ridicate pentru materialele avansate, cum ar fi perovskitele și aliajele speciale, pot reprezenta un obstacol în adoptarea pe scară largă a acestor tehnologii.

Pentru a depăși aceste limitări, cercetările actuale se concentrează pe dezvoltarea de materiale hibride care combină multiple proprietăți, precum nanocompozitele și aliajele avansate, ce oferă o eficiență energetică sporită și o durabilitate crescută.

## **3.2. Integrarea cu alte componente ale microsystemelor**

Integrarea surselor de energie în cadrul microsystemelor reprezintă o provocare semnificativă, deoarece necesită compatibilitatea perfectă între dimensiuni reduse, performanță optimă și complexitate minimă. În dispozitivele miniaturizate, spațiul disponibil pentru modulele de captare a energiei este limitat, ceea ce poate afecta negativ eficiența globală a sistemului.

Complexitatea circuitelor devine o barieră majoră, mai ales în cazul în care dispozitivele necesită surse multiple de energie sau stocare intermediară. Integrarea surselor de captare a energiei cu unități de stocare, cum ar fi supercondensatorii sau microbateriile, necesită soluții avansate de gestionare a energiei pentru a echilibra cererea și oferta de energie.

O altă provocare este reducerea interferențelor electromagnetice care pot apărea atunci când mai multe componente electronice sunt integrate într-un singur sistem. Optimizarea arhitecturii de circuit și utilizarea materialelor de ecranare poate contribui la reducerea acestor efecte negative.

## **3.3. Viitorul captării energiei: materiale avansate și soluții inovatoare**

Viitorul captării energiei în microsysteme este promițător, cu progrese constante în domeniul materialelor avansate și tehnologiilor inovatoare. Nanogeneratoarele triboelectrice, care utilizează contactul dintre materiale pentru a genera energie electrică, au demonstrat o eficiență ridicată în aplicații de mică putere. În același timp, perovskitele, datorită flexibilității lor chimice, promit să revoluționeze domeniul celulelor fotovoltaice cu costuri reduse și eficiență sporită.

Progrese semnificative sunt înregistrate și în utilizarea nanomaterialelor precum grafenul și nanotuburile de carbon, care oferă o conductivitate electrică excelentă și pot fi integrate în structuri flexibile și extrem de subțiri. De asemenea, cercetările actuale se concentrează pe materialele biocompatibile, menite să sprijine aplicațiile medicale, cum ar fi implanturile autonome care funcționează pe baza captării energiei din corpul uman.

Perspectivile de aplicare a acestor tehnologii includ o gamă variată de domenii, de la dispozitive biomedicale implantabile complet autonome, la senzori IoT pentru monitorizarea mediului în timp real și senzori industriali pentru prevenirea defecțiunilor. Un alt domeniu de aplicabilitate emergent este agricultura inteligentă, unde senzorii alimentați autonom pot monitoriza condițiile solului și ale culturilor fără necesitatea intervențiilor frecvente.

Prin abordarea acestor provocări tehnologice și inovarea continuă în domeniul materialelor avansate, captarea energiei în micro sisteme poate deveni o componentă fundamentală în realizarea dispozitivelor sustenabile și complet autonome ale viitorului.

## Concluzie

Captarea energiei în micro sisteme reprezintă un domeniu de cercetare esențial, cu aplicații extinse în multiple industrii, de la biomedicină până la Internetul Lucrurilor (IoT) și tehnologiile portabile. Această tehnologie promite să reducă dependența de sursele tradiționale de alimentare, facilitând dezvoltarea de dispozitive complet autonome și sustenabile.

De-a lungul acestui referat, am explorat principiile fundamentale ale captării energiei la scară mică, diversele surse de energie disponibile și tehnologiile utilizate pentru conversia acesteia. Limitările tehnologice actuale, precum eficiența materialelor și complexitatea integrării componentelor, rămân provocări majore. Cu toate acestea, inovațiile în materiale avansate, cum ar fi perovskitele, grafenul și nanogeneratoarele triboelectrice, deschid noi orizonturi pentru îmbunătățirea performanțelor acestor sisteme.

Integrarea armonioasă a surselor de energie în dispozitivele miniaturizate necesită soluții avansate de gestionare a energiei și optimizarea arhitecturilor electronice. Cercetările actuale asupra materialelor hibride și a sistemelor de stocare eficientă a energiei indică un viitor promițător în care micro sistemele pot funcționa pe termen lung, fără necesitatea intervențiilor frecvente.

În concluzie, captarea energiei în micro sisteme are potențialul de a transforma radical modul în care sunt alimentate dispozitivele moderne, contribuind semnificativ la progresul tehnologic, sustenabilitatea energetică și reducerea amprentei ecologice. Progresele continue în acest domeniu vor juca un rol crucial în conturarea unei lumi mai eficiente energetic și mai prietenoase cu mediul înconjurător.

## Bibliografie

P. D. Mitcheson, E. M. Yeatman, G. K. Rao, A. S. Holmes, T. C. Green, "Energy Harvesting from Human and Machine Motion for Wireless Electronic Devices," *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, no. 9, pp. 1457-1486, 2008.

G. G. Wallace, J. G. M. Edward, "Piezoelectric Materials for Energy Harvesting Applications," *Advanced Materials*, vol. 28, no. 29, pp. 5678-5685, 2016.

S. Priya, D. J. Inman, *Energy Harvesting Technologies*, Springer, 2009.

R. Yang, Z. L. Wang, "Nanogenerators for Sustainable Energy," *Small*, vol. 11, no. 45, pp. 6737-6756, 2015.

M. B. Kjell, H. H. Rasmussen, "Thermoelectric Materials for Energy Harvesting in Microsystems," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 27, no. 7, pp. 1-10, 2017.

Y. Zhang, M. S. Dresselhaus, G. Chen, Z. Ren, "High-Performance Thermoelectric Materials for Energy Harvesting," *Advanced Energy Materials*, vol. 5, no. 8, pp. 1-12, 2015.

S. Roundy, P. K. Wright, J. Rabaey, *Energy Scavenging for Wireless Sensor Networks*, Springer, 2003.

J. F. Nye, *Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices*, Oxford University Press, 1985.

Z. L. Wang, "Triboelectric Nanogenerators as New Energy Technology for Self-Powered Systems and as Active Mechanical and Chemical Sensors," *ACS Nano*, vol. 7, no. 11, pp. 9533-9557, 2013.

C. R. Sullivan, "Power Electronics for Energy Harvesting," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 2, pp. 784-793, 2012.