



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2020 00670**

(22) Data de depozit: **27/10/2020**

(41) Data publicării cererii:
29/04/2021 BOPI nr. **4/2021**

(71) Solicitant:
• **UNIVERSITATEA "TRANSILVANIA" DIN
BRAȘOV, BD.EROILOR NR.29, BRAȘOV,
BV, RO**

(72) Inventatori:
• **COȘNIȚĂ MIHAELA, ALEEA MAGNOLIEI
NR.5, BL.64, SC.B, AP.3, BRAȘOV, BV, RO;**

• **VIȘA MARIA, STR. CLOȘCA NR.48,
BRAȘOV, BV, RO;**
• **CAZAN CRISTINA,
STR.NISIPULUI DE JOS NR.17A, BRAȘOV,
BV, RO**

(54) **MATERIALE COMPOZITE HIBRIDE DIN DEȘEURI
DE MODULE FOTOVOLTAICE CU SILICIU, CAUCIUC
ȘI POLIETILENĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la materiale compozite hibride realizate prin reciclarea simultană a deșeurilor de module fotovoltaice cu siliciu cristalin și a deșeurilor de cauciuc, care pot fi utilizate pentru realizarea dalelor de pavaj montate în spațiile de joacă și pe terenurile de sport, traverse pe căile feroviare la intersecția cu rutele auto, ca produse de protecție la solicitări de impact în parcurile auto, pe autostrăzi și în alte domenii asemenea, și la un procedeu de obținere a acestora. Materialele compozite conform invenției sunt constituite din următoarele componente exprimate în procente de masă: maxim 40% deșeuri de module fotovoltaice cu siliciu cristalin Si - PV, maxim 50% deșeuri din cauciuc, utilizând ca agent de compatibilizare tot un deșeu de polietilenă de înaltă densitate HDPE. Procedeu de obținere conform invenției are următoarele etape:

a) obținerea pulberii din modulele fotovoltaice PV prin măcinarea deșeurilor rămase după îndepărtarea cadrului de aluminiu și a cutiei de conexiuni,

b) obținerea granulelor din deșeurile de cauciuc și de HDPE cu dimensiunea granulelor < 1mm,

c) dozarea și omogenizarea componentelor materialului compozit cu compoziția în procente de masă de 50% cauciuc: 15% HDPE: 35% Si - PV; 45% cauciuc: 15% HDPE: 40% Si - PV; 45% cauciuc: 20% HDPE: 35% Si - PV; 40% cauciuc: 20% HDPE: 40% Si - PV,

d) sinterizarea în matriță la presiuni cuprinse între 15...20 bari la temperaturi cuprinse între 190...210°C pentru o durată de 30 minute și

e) răcirea epruvetelor cu 10°C/oră.

Revendicări: 5
Figuri: 2



Materiale compozite hibride din deșeuri de module fotovoltaice cu siliciu, cauciuc și polietilena

Invenția se refera la materiale compozite hibride realizate prin reciclarea simultană deșeurilor de module fotovoltaice cu siliciu cristalin (Si-PV) și de cauciuc, pentru dale de pavaj în spațiile de joacă, pe terenurile de sport, traverse pe căile feroviare la intersecția cu rutele auto, ca produse de protecție la solicitări de impact în spațiile de parcare auto, pe autostrăzi, precum și la procedeul de obținere al acestora.

În contextul actual de producere a energiei din surse regenerabile, numărul de module PV instalate este într-o continuă creștere, ceea ce va conduce la cantități foarte mari de deșeuri de module PV (peste 70 milioane de tone în 2050 estimat de IREA-International Renewable Energy Agency, 2016). Se cunoaște că piața fotovoltaicelor este dominată de modulele PV cu siliciu cristalin (peste 80 %), în consecință ponderea dominantă a deșeurilor PV va fi formată din deșeuri de Si-PV.

Din literatura de specialitate se cunosc două companii dominante de reciclare a modulelor fotovoltaice ajunse la finalul ciclului de viață, (Deutsche Solar și First Solar), care abordează separarea mecanică, tratamente chimice și mecanice și chiar incinerarea deșeurilor (Tao, L., Yu, S., Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules. Solar Energy and Materials & Solar Cells, 141, 2015, 108-1240;

Rong Deng, Nathan L. Chang, Zi Ouyang, Chee Mun Chong, A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 109, 2019, Pages 532-550).

Un exemplu de proces chimic utilizat în recuperarea wafer-ilor de Si, constă în separarea sticlei solare de celulele de siliciu prin imersarea modulului PV în soluție de acid azotic pentru 24 de ore. Dezavantajul acestui proces este legat utilizarea acidului azotic, care este deosebit de toxic și foarte coroziv și poate provoca arsuri grave. Un alt dezavantaj al acestui proces este dat de durata mare a imersării.

EVA - copolimer etilen-vinil acetat, materialul utilizat pentru protejarea suprafeței active a modulelor PV de umiditate și impurități, prezintă proprietăți foarte bune de adeziune, dielectrice, termice și transmisie optică foarte bună (peste 90 %), dar ridică dificultăți în reciclarea modulelor PV. Aceste dificultăți sunt legate de metodele de separare ale straturilor ce compun modulul PV, care pot deteriora wafer-ul de Si care se dorește a fi recuperat



(Latunussa, CEL., Ardente, F., Blengini, G.A., Lucia Mancini, L., Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels, Solar Energy Materials & Solar Cells 156, 2016,101-111).

Se cunoaște utilizarea unei microemulsii pentru îndepărtarea foliei de EVA, dar fără informații cu privire la impactul asupra mediului, (Kernbaum, S., PV Module Recycling, 3rd International Conference on PV Module Recycling “End-of-life solutions for PV Modules, Rome, Italy, 2013).

Se cunoaște, de asemenea, o metodă de îndepărtare a stratului EVA prin imersarea modulului PV în tricloroetilenă la temperatura de 80 °C pentru o durată de 10 zile, (Takuya Doi, Izumi Tsuda, Hiroaki Unagida, Akinobu Murata, Koichi Sakuta, Kosuke Kurokawa, Experimental study on PV module recycling with organic solvent method, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 67, Issues 1–4, 2001, Pages 397-403). Procedul de dizolvare al EVA în tricloroetilenă prezintă principalul dezavantaj legat de durata de imersare a modulului PV (10 zile), la care se adaugă și energia consumată în cele 10 zile (procesul de dizolvare desfășurându-se la temperatura de 80 °C).

Este cunoscut procedul de reciclare a modulelor fotovoltaice cu siliciu cristalin prin tratament termic (540°C) în atmosferă inertă, pentru o durată de până la patru ore, U.S. 6063995. Dezavantajul acestui procedeu este legat de temperaturile ridicate la care se lucrează, făcând procesul energointensiv.

Se cunoaște din literatura de specialitate utilizarea deșeurilor de module fotovoltaice în matrice de ciment, cu impact negativ asupra proprietăților mecanice ale materialului compozit rezultat, (Fernandez, L., Ferrer, R., Aponte, D.F., Fernandez. P., Recycling silicon solar cell waste in cement based systems, Solar Energy Materials & Solar Cell 95, 2011, 1701-1706).

Este cunoscut faptul că începând cu 2005 grosimea wafer-elor modulelor PV s-a redus considerabil ajungând la 180 – 200 micrometri, (Kang et al., 2012, Fraunhofer Institute, 2016), ceea ce va face dificilă separarea suprafeței active de sticla modulului PV, ducând chiar la distrugerea wafer-elor modulelor PV, respectiv la imposibilitatea recuperării lor.

Deșeurile de cauciuc, de asemenea ridică probleme mari ținând cont de cantitățile uriașe depozitate anual, care au impact negativ asupra mediului.

Este cunoscută utilizarea deșeurilor de cauciuc în fabricile de ciment ca și combustibil, recuperându-se doar energia înglobată inițial, (Maciej Sienkiewicz, Justyna Kucinska-Lipka,

Helena Janik, Adolf Balas, Progress in used tyres management in the European Union: A review, Waste Management, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1742-1751). Este cunoscută reciclarea deșeurilor de cauciuc în fabricarea de produse stratificate sub forma de dale, **RO122269B1**. Dezavantajul acestei invenții, precum și în cazul multor rapoartări privind reciclarea cauciucului prin dezvoltarea de noi produse, este utilizarea de compuși toxici, ca izocianații, (RO122269B1, Beatriz Marques, Julieta António, João Almeida, António Tadeu, Jorge de Brito, Sara Dias, Filipe Pedro, João Dinis Sena, Vibro-acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and recycled rubber granules, Construction and Building Materials, Volume 264, 2020, 120221, ISSN 0950-0618).

Principalele dezavantaje ale soluțiilor de recuperare/reciclare a modulelor PV prezentate mai sus sunt legate de impactul negativ asupra mediului (prin compușii toxici utilizați, compuși cu izocianați) și costurile ridicate ale proceselor de reciclare/recuperare datorită proceselor energofage implicate, făcând produsele rezultate neatractive din punct de vedere economic.

Invenția de față înlătură toate aceste dezavantaje prezentate mai sus, prin realizarea de materiale compozite hibride cu conținut ridicat de deșeuri de module Si-PV recuperând atât materialele cât și energia înglobată în producerea lor. Prin invenția de față se reciclează simultan două categorii de deșeuri problemă - de module Si-PV și de cauciuc provenit de la anvelope uzate.

Scopul invenției este de a obține un material compozit hibrid cu proprietăți mecanice superioare, prin reciclarea simultană a deșeurilor de module fotovoltaice cu siliciu cristalin și a deșeurilor de cauciuc cu un agent de compatibilizare deșeu de polietilena de înaltă densitate (HDPE) fără adaos de compuși toxici.

Un alt obiectiv al invenției este de a stabili un procedeu de realizare a materialului compozit hibrid compus din deșeuri reciclabile de module fotovoltaice, deșeuri din cauciuc și deșeuri din HDPE fără adaos de compuși toxici și cu un consum energetic redus.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în stabilirea cotelor de participare a celor trei elemente (deșeuri de module fotovoltaice, deșeuri de cauciuc și deșeuri de polietilena de înaltă densitate) în structura materialului compozit, astfel încât acesta să aibă anumite calități – rezistență mecanică, rezistență la uzură, rezistență la agenți chimici.

O altă problemă tehnică pe care o rezolvă invenția constă în stabilirea etapelor și a condițiilor tehnice care trebuie să fie realizate în procesul de comprimare la o anumită presiune și la o



anumita temperatură într-un interval de timp stabilit, pentru obținerea materialului compozit în scopul atingerii performanțelor impuse.

Un avantaj al invenției constă în faptul că reciclarea acestor deșeuri conduce la reducerea volumului de deșeuri cu impact negativ asupra mediului, simultan cu realizarea de produse cu valoare adăugată atractivă din punct de vedere economic.

Un alt avantaj al invenției îl reprezintă faptul că pentru realizarea materialului conform invenției nu sunt folosiți compuși/aditivi suplimentari de adăugat ca în alte procedee cunoscute, care pot fi toxici atât în procesul de fabricație cât și la utilizarea ulterioară.

Un alt avantaj al invenției îl reprezintă faptul că folosește materiale reciclabile compatibile astfel încât datorită stabilității ridicate a interfețelor dezvoltate între componentele materialului compozit se pot obține performanțe fizico-mecanice predefinite cum ar fi rezistența la solicitări mecanice, termice și la diferiți agenți chimici.

Un alt avantaj al invenției îl reprezintă faptul că este aplicat printr-un procedeu simplu cu consum redus de energie, ceea ce asigură astfel *sustenabilitatea produsului*.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură și cu tabelele 1-6, fig.1 și fig. 2 care reprezintă:

Tabel 1. Codificarea materialelor compozite cu conținut ridicat deșeuri Si-PV

Tabel 2. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV

Tabel 3. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV după imersarea în apă, 240 h

Tabel 4. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV după expunerea epruvetelor la radiații UV, 120 h

Tabel 5. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV după expunerea epruvetelor la variații de temperatură și umiditate

Tabel 6. Compozițiile materialelor compozite cu caracteristici mecanice recomandate pentru produse

Fig.1 Etapele dezmembrării modulului Si-PV (la finalul ciclului de viață) și obținerea pulberii

Fig. 2 Fazele procedurii tehnologice de realizare a materialului compozit

Pentru realizarea materialelor compozite hibride cu conținut ridicat de deșeuri de Si-PV, *în primă fază se obțin pulberea din deșeuri de module Si-PV, granulele de cauciuc și de polietilenă de înaltă densitate* urmând etapele prezentate mai jos:

a) Obținerea pulberii de Si-PV

- Dezmembrarea modulele fotovoltaice cu siliciu cristalin (Si-PV) aflate la finalul ciclului de viață se realizează manual urmând etapele:
- îndepărtarea cadrului de aluminiu și a cutiei de joncțiune, care ulterior vor fi trimise companiilor specializate în reciclare;
- după îndepărtarea cadrului de aluminiu și a cutiei de joncțiune, rămâne practic placa dreptunghiulara formata din glazing (sticla), wafer-ul de siliciu cristalin cu foliile laminate de EVA si alte componente polimerice și metalice (ex aluminiu);
- placa respectiva cu toate componentele menționate mai sus se taie cu ajutorul unei foarfece de table în bucăți mici;
- bucățile rezultate de modul Si-PV sunt măcinate cu ajutorul unei mori de măcinare - Moara de măcinat Tetsch ZM 200, obținându-se pulberea ce urmează a fi dozată și încorporată în matricea de cauciuc pentru obținerea materialelor compozite hibride.

Pulberea obținută va conține sticla, Si wafer, EVA, contactele metalice și materiale polimerice. Etapele parcurse pentru obținerea pulberii de deșeuri de module Si-PV sunt prezentate în Fig. 1.

b) Obținere granulelor de cauciuc:

- prima etapă - tăierea grosieră a deșeurilor de cauciuc, urmată de spălare și uscare;
- a doua etapă – măcinarea bucăților de deșeuri de cauciuc tăiate, spălate și uscate;
- a treia etapă – îndepărtarea inserțiilor textile;
- a patra etapă - îndepărtarea inserțiilor metalice;
- a cincea etapă – măcinarea fină pentru obținerea granulelor cu dimensiuni mai mici de 1 mm.

c) Obținere granulelor de polietilenă de înaltă densitate:

- prima etapă - tăierea grosieră a deșeurilor de HDPE, urmată de îndepărtarea etichetelor;
- a doua etapă – spălarea bucăților de deșeuri de HDPE;
- uscarea bucăților de deșeuri de HDPE;
- măcinarea fină a bucăților de deșeuri de polietilenă de înaltă densitate, pentru obținerea granulelor cu dimensiuni mai mici de 1 mm.



În a doua fază, cele 3 componente pulberea de Si-PV, cauciucul și HDPE-ul granulate au fost dozate și amestecate pentru a obține o distribuție omogenă a granulelor de cauciuc, polietilena și a pulberii de Si-PV, astfel:

- în prima etapă se cântăresc deșeurile de cauciuc, polietilenă și de pulberi de Si-PV conform compozițiilor din Tabel 1;
- în a doua etapă se amestecă componentele dozate în prima etapă.

În a treia fază, are loc sinterizarea componentelor astfel:

- în prima etapă se dispun în matriță componentele compozitului dozate și amestecate în faza a doua;
- în a doua etapă se sinterizează în matriță deșeurile granulate de cauciuc, polietilenă de înaltă densitate și pulberile de Si-PV, prin aplicare de presiunii de 15-20 bar și tratament termic de 190 °C..210 °C, pentru 30 de minute

În faza a patra are loc condiționarea termică a compozitelor

- în prima etapă, după tratamentul termic, urmează condiționarea termică, prin răcire controlată cu 10 °C/ora
- în etapa a doua are loc îndepărtarea epruvetelor din matrițe, precum și menținerea acestora pentru cel puțin o zi la temperatura ambientală din laborator, înainte de testarea proprietăților aplicative.

Compozițiile materialelor compozite și codificările acestora sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabel 1 Codificarea materialelor compozite cu conținut ridicat deșeurii Si-PV

Cauciuc [% masice]	HDPE [% masice]	Si-PV [% masice]	Cod
T = 190 °C			
45	20	35	D2
40		40	D3
T = 200 °C			
50	15	35	B2
40		40	E3
T = 210 °C			
50	15	35	C2
45	20	35	F2
40		40	F3

Caracteristicile mecanice ale materialelor compozite cu conținut ridicat de deșeuri Si-PV, și anume rezistența la tracțiune (R_T), rezistența la compresiune (R_C) și rezistența la solicitări de impact (R_I), au fost măsurate ca atare și după expunerea compozitelor la factori de mediu simulați (radiații UV, imersare în apă, expunere la variații de temperatură și umiditate), Tabelele 2-5.

Tabel 2. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV

Cod	R_T [MPa]	E [MPa]	R_C [MPa]	R_I [kJ/m²]
B2	2,26	20,91	167,57	58,48
C2	2,40	14,12	204,72	50,51
D2	2,65	24,77	210,40	44,70
D3	2,48	30,23	193,03	36,10
E3	2,86	33,94	198,55	36,05
F2	2,76	28,98	206,30	41,86
F3	2,82	25,65	211,29	51,28

Tabel 3. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV după imersarea în apă, 240 h

Cod	R_T [MPa]	E [MPa]	R_C [MPa]	R_I [kJ/m²]
B2	2,44	13,13	159,94	56,71
C2	2,40	16,49	200,46	48,60
D2	2,85	24,92	208,17	42,97
D3	2,76	12,15	189,88	41,50
E3	2,89	18,88	196,18	48,98
F2	2,76	19,03	206,43	40,30
F3	2,70	16,59	214,39	49,90

Tabel 4. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV după expunerea epruvetelor la radiații UV, 120 h

Cod	R_T [MPa]	E [MPa]	R_C [MPa]	R_I [kJ/m²]
B2	2,34	8,97	159,09	55,85
C2	2,03	7,88	200,24	49,30
D2	2,61	9,25	203,68	47,09
D3	2,75	13,42	195,53	35,33
E3	2,82	14,70	194,69	38,60
F2	2,72	12,10	205,56	42,60
F3	2,82	17,95	209,07	44,09

Tabel 5. Proprietăți mecanice ale materialelor compozite hibride cu deșeuri de Si-PV după expunerea epruvetelor la variații de temperatura și umiditate

Cod	R_T [MPa]	E [MPa]	R_C [MPa]	R_I [kJ/m²]
B2	2,20	18,58	159,68	53,50
C2	2,35	18,05	200,64	51,70
D2	2,72	25,13	207,20	44,60
D3	2,80	35,16	198,80	40,50
E3	2,84	32,06	197,30	39,30
F2	2,85	40,03	204,20	42,60
F3	2,77	31,10	210,15	48,21

Materialele compozite cu caracteristici bune de rezistență la impact, Tabele 2-5, sunt cele cu compozițiile B2, C2 și D2 și F3, pretabile ca produse de protecție la solicitări de impact în spațiile de parcare auto, borduri, panouri separatoare de sens pe autostrăzi, etc. Iar cele cu rezistență bună la compresiune sunt D2, F2 și F3, pretabile pentru produse ca dale de pavaj în spațiile de joacă, pe terenurile de sport, traverse pe căile feroviare la intersecția cu rutele auto; epruvetele cu rezistență bună la solicitări de tracțiune, compresiune și impact corespund compozițiilor E3, D3, F2 și F3 și sunt recomandate în aplicații unde sunt solicitate toate cele trei caracteristici de rezistență mecanică, de exemplu ca produse rutiere pentru reducerea vitezei în proximitatea zonelor pietonale. Acestea sunt sumarizate și prezentate în Tabelul 6.

Tabel 6. Compozițiile materialelor compozite cu caracteristici mecanice recomandate pentru produse

Cauciuc [% masice]	HDPE [% masice]	Si-PV [% masice]	Cod	R_T [MPa]	R_C [MPa]	R_I [kJ/m²]
T = 190 °C						
45	20	35	D2		✓	✓
40		40	D3	✓	✓	✓
T = 200 °C						
50	15	35	B2			✓
40		40	E3	✓	✓	✓
T = 210 °C						
50	15	35	C2			✓
45	20	35	F2	✓	✓	✓
40		40	F3	✓	✓	✓

Referințe

1. Tao, L., Yu, S., Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules. *Solar Energy and Materials & Solar Cells*, 141 (2015) 108-124.
2. Latunussa, CEL., Ardente, F., Blengini, G.A., Lucia Mancini, L., Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 156 (2016)101-111.
3. Kernbaum, S., PV Module Recycling, 3rd International Conference on PV Module Recycling “End-of-life solutions for PV Modules, Rome, Italy, (2013).
4. Takuya Doi, Izumi Tsuda, Hiroaki Unagida, Akinobu Murata, Koichi Sakuta, Kosuke Kurokawa, Experimental study on PV module recycling with organic solvent method, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 67, Issues 1–4, 2001, Pages 397-403].
5. Fernandez, L., Ferrer, R., Aponte, D.F., Fernandez. P., Recycling silicon solar cell waste in cement based systems, *Solar Energy Materials & Solar Cell* 95 (2011) 1701-1706.
6. Kang et al., 2012, Fraunhofer Institute, 2016.
7. Maciej Sienkiewicz, Justyna Kucinska-Lipka, Helena Janik, Adolf Balas, Progres in used tyres management in the European Union: A review, *Waste Management*, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1742-1751, ISSN 0956-053X.
8. Beatriz Marques, Julieta António, João Almeida, António Tadeu, Jorge de Brito, Sara Dias, Filipe Pedro, João Dinis Sena, Vibro-acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and recycled rubber granules, *Construction and Building Materials*, Volume 264, 2020, 120221, ISSN 0950-0618.
9. Rong Deng, Nathan L. Chang, Zi Ouyang, Chee Mun Chong, A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 109, 2019, Pages 532-550
10. Patent U.S. 6063995.
11. Patent RO122269B1

Revendicări

1. Materiale compozite hibride destinate utilizării ca dale de pavaj în spațiile de joacă, pe terenurile de sport, traverse pe căile feroviare la intersecția cu rutele auto, ca produse de protecție la solicitări de impact în spațiile de parcare auto, pe autostrăzi, **caracterizate prin aceea că se compun din pâna la 40 % masice deșeuri de module fotovoltaice cu siliciu cristalin, până la 50 % masice deșeuri din- cauciuc și utilizează ca agent de compatibilizare tot un deșeu – polietilenă de înaltă densitate HDPE.**

2. Procedeul de realizare a materialelor compozite definite în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că prevede următoarele etape: obținerea pulberii din modulul PV prin măcinarea deșeurilor rămase după îndepărtarea cadrului de aluminiu și a cutiei de conexiuni (acestea urmând caile curente de reciclare); obținerea granulelor de deșeuri de cauciuc și de HDPE cu dimensiuni mai mici de 1mm; dozarea și omogenizarea componentelor materialului compozit cu compoziția în procente masice de 50 % cauciuc: 15 % HDPE: 35 % Si-PV; 45 % cauciuc: 15 % HDPE: 40 % Si-PV; 45 % cauciuc: 20 % HDPE: 35 % Si-PV; 40 % cauciuc: 20 % HDPE: 40 % Si-PV urmând sinterizarea în matriță prin aplicarea de presiuni de 15-20 bari și prin aplicarea de temperaturi cuprinse între 190-210 °C pentru 30 de minute, iar în ultima fază are loc răcirea epruvetelor cu 10 °C/ora.**

3. Material compozit conform revendicării 1 cu rezistență bună la solicitări de impact și durabilitate, pretabil în aplicații de exterior ca produse de protecție la solicitări de impact în spațiile de parcare auto, borduri, panouri separatoare de sens pe autostrăzi, etc **caracterizat prin aceea că se compune din 35 % Si-PV, 15 % HDPE și 50 % cauciuc obținute la T= 200 °C conform compoziției B2, sau din 35 % Si-PV, 15 % HDPE și 50 % cauciuc obținute la T= 210 °C conform compoziției C2 sau din 35 % Si-PV, 20 % HDPE și 45 % cauciuc obținute la T= 190 °C conform compoziției D2 sau din 40 % Si-PV, 20 % HDPE și 40 % cauciuc obținute la T= 210 °C conform compoziției F3.**

4. Material compozit conform revendicării 1 cu rezistență bună la solicitări de compresiune și proprietăți de durabilitate pretabil în aplicații de exterior ca dale de pavaj în spațiile de joacă, pe terenurile de sport, traverse pe căile feroviare la intersecția cu rutele auto etc , **caracterizat prin aceea că se compune din 35 % Si-PV, 20 % HDPE și 45 % cauciuc obținute la T= 190 °C conform compoziției D2 sau din 35 % Si-PV, 20 % HDPE și 45 % cauciuc obținute la T= 210**



$^{\circ}\text{C}$ conform compoziției *F2* sau din 40 % Si-PV, 20 % HDPE și 40 % cauciuc obținute la $T=210^{\circ}\text{C}$ conform compoziției *F3*.

5. Material compozit conform revendicării 1 cu rezistență bună la solicitări de impact, compresiune, tracțiune și proprietăți de durabilitate la factorii de mediu. Acestea pot fi recomandate în aplicații unde sunt solicitate toate cele trei caracteristici de rezistență mecanică, de exemplu ca produse rutiere pentru reducerea vitezei în proximitatea zonelor pietonale etc, **caracterizat prin aceea că se compune din 40 % Si-PV, 20 % HDPE și 40 % cauciuc obținute la $T=200^{\circ}\text{C}$ conform compoziției *E3* sau din 40 % Si-PV, 20 % HDPE și 40 % cauciuc obținute la $T=190^{\circ}\text{C}$ conform compoziției *D3* sau din 35 % Si-PV, 20 % HDPE și 45 % cauciuc obținute la $T=210^{\circ}\text{C}$ conform compoziției *F2* sau din 40 % Si-PV, 20 % HDPE și 40 % cauciuc obținute la $T=210^{\circ}\text{C}$ conform compoziției *F3*.**

This work was supported by a grant of Ministry of Research and Innovation, CNCS - UEFISCDI, project number PN-III-P1-1.1-PD-2016-0286, within PNCDI III.



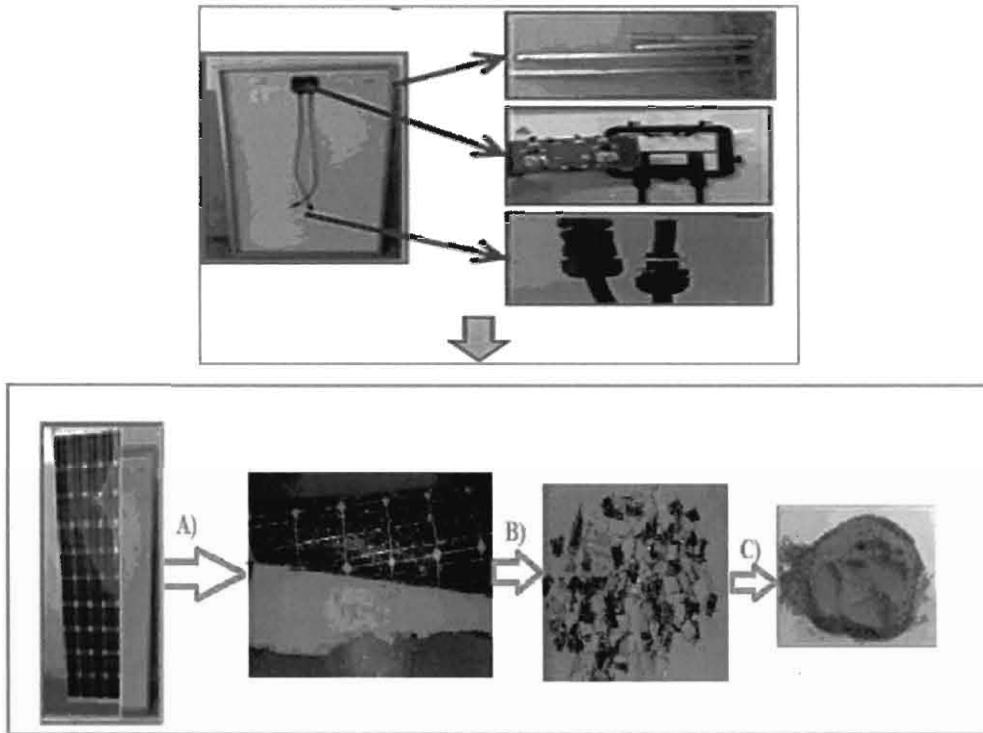


Fig. 1 Etapele dezmembrării modulului Si-PV (la finalul ciclului de viață) și obținerea pulberii

- A) desprinderea wafei după scoaterea cadrului de Al și a cutiei de joncțiuni
B) tăierea wafei în fracții mici C) obținerea pulberii după macinarea bucăților de Si-wafer

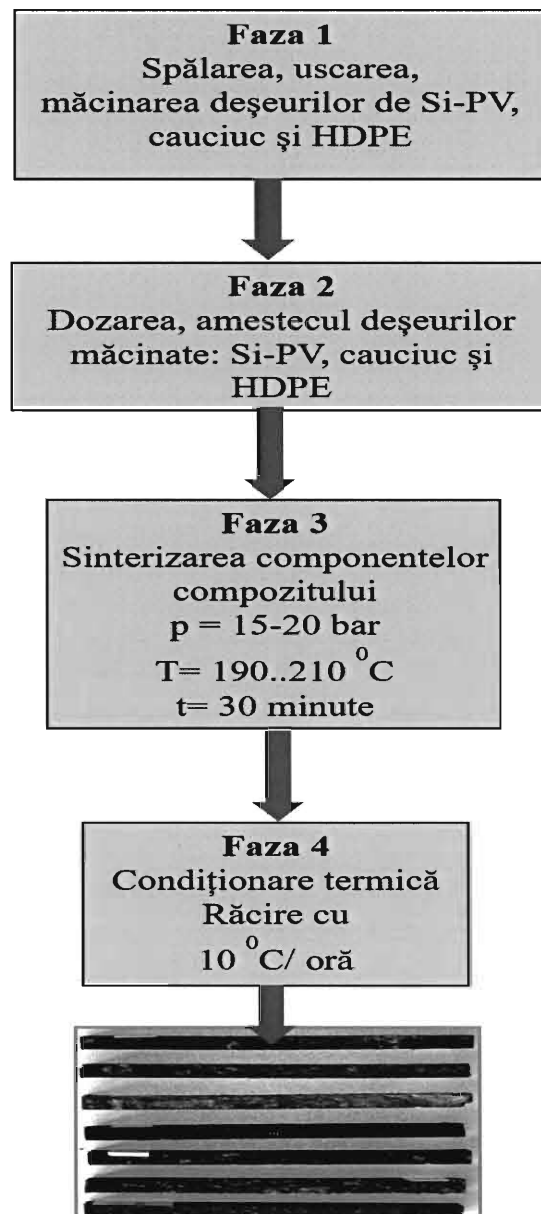


Fig. 2 Fazele procedurii tehnologice de realizare a materialului compozit