

Raport national privind pierderile de eficienta ale sistemelor fotovoltaice din Romania cauzate de depunerile de murdarie

Studiu National 2026

Realizat de:

SpalPanouri.ro

Allesro SRL (CUI: RO38385427)

Ianuarie 2026

Versiune 3.0

Licenta: CC BY-NC-SA 4.0

(Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike)

1. Rezumat Executiv

Acest document prezinta primul studiu national care cuantifica, intr-un mod replicabil si fundamentat stiintific, pierderile de eficienta ale panourilor fotovoltaice din Romania cauzate de depunerile de murdarie (soiling). Analiza integreaza date oficiale privind calitatea aerului, precipitatiile, radiatie solara si metodologia HSU (Coello & Boyle, 2019), standardul global de estimare a pierderilor prin soiling.

1.1 Cifre Cheie

- Romania pierde **193 milioane EUR anual** din murdaria acumulata pe panourile fotovoltaice
- Peste **248.000 prosumatori** pierd in medie **600-800 RON/an** fiecare
- Pierderi medii: **12-25% anual** in mediul urban, fara curatare preventiva
- **Galati:** 14-25% pierdere anuala (cel mai poluat oras analizat)
- Cazuri extreme: **pana la 40% pierdere** (panouri orizontale inclinare <10 grade, 2+ ani fara curatare, zone industriale)
- Curatare profesionala: recuperare **70-90%** din pierderile cauzate de soiling
- Perioada de recuperare a investitiei in curatare: **2-4 luni**
- Romania: **15.7 µg/m³ PM2.5** - locul 9 in Uniunea Europeana la poluare atmosferica
- Panourile orizontale (inclinare <10 grade) pierd **de 5 ori mai mult** decat cele cu tilt optim 25-35 grade
- Pierderile variaza între 6-7% în oraşele curate (Cluj, Sibiu) şi 14–17% în oraşele poluate (Galaţi, Iaşi). Intervalul 12–25% se aplică mediilor urbane şi scenariilor fără curăţare 12 luni.

Nota metodologica: Estimările sunt realizate cu modelul HSU (Coello & Boyle, 2019), adaptat climatului romanesc, combinand date PM2.5/PM10 (European Environment Agency), precipitatii (Climate-data.org, ANM), radiatie solara (PVGIS) si sezonabilitate. Acuratetea estimata: +/-10-15%.

1.2 Top 5 Concluzii

1. Romania - pozitie nefavorabila pentru soiling: Nu suntem in desert (deci nu avem pierderi de 40% ca in Orientul Mijlociu), dar suntem cu 30-50% mai poluati decat Europa de Vest, ceea ce amplifica soiling-ul semnificativ. Rezultat: pierderi de 15-25% anual, dublu fata de Germania sau Franta, dar jumatate fata de regiunile aride.

2. Proprietarii pierd echivalentul unei facturi intregi pe an fara sa constientizeze. Un prosumator mediu (10 kW) din Bucuresti pierde 1.200-1.500 kWh/an (aproximativ 1.000-1.300 RON), suma comparabila cu o factura lunara la energie electrica.

3. Curatarea profesionala este una dintre cele mai eficiente interventii tehnice: Multiplicator de rentabilitate 7-10× pentru sistemele rezidentiale, cu perioada de recuperare a costurilor in 2-4 luni. Nici o alta interventie tehnica pe un sistem fotovoltaic nu ofera o rentabilitate atat de rapida si predictibila.

4. Primul studiu national dedicat: Pana la publicarea acestui raport, Romania nu avea date dedicate privind impactul soiling-ului. Toate recomandarile se bazeau pe extrapolari din studii internationale, fara adaptare la specificul local (poluare, precipitatii, climat).

5. Variabilitate geografica majora: Diferenta intre Galati (14-25% pierdere) si Cluj-Napoca (6-7%) este de 2.5×, demonstrand necesitatea unor recomandari personalizate pe orase, nu o abordare universala pentru intreaga tara.

2. Metodologie

Aceasta secțiune detaliază sursele de date, modelele matematice utilizate și limitările studiului. Transparența metodologică este esențială pentru credibilitatea și replicabilitatea analizei.

2.1 Surse de Date

Categorie	Sursa	Credibilitate	Acoperire
PM2.5 & PM10	European Environment Agency (EEA)	Ridicată	2018-2023
Precipitații	Climate-data.org + ANM	Ridicată	Medie 30 ani
Irație solară	PVGIS (EU JRC)	Ridicată	Database 2005-2020
Modele soiling	HSU Model, Coello & Boyle (2019)	Peer-reviewed	Validat global
Pret energie	ANRE - piața competitivă	Oficial	Q3 2024
Capacitate instalată	RPIA, ANRE	Oficial	2023-2025

2.2 Modele Matematice

Formula Master Soiling Loss Rate (adaptat din HSU/Coello & Boyle 2019):

$$SR_{city} = 0.08 \times PM_{mult} \times (P_{ref} / P_{city}) \times seasonal_{mult}$$

Unde:

- SR_{city} = Soiling Rate zilnic (% pierdere/zi)
- PM_{mult} = Multiplicator poluare ($PM_{2.5_city} / 12 \mu g/m^3$)
- P_{ref} / P_{city} = Raport precipitații (500mm referință / precipitații oras)
- $seasonal_{mult}$ = Factor sezonier (polen, seceta, vanturi)

Parametri Adoptati:

- **Baseline:** 0.08% pierdere/zi pentru climat temperat urban cu poluare moderată
- **PM multipliers:**
 - <10 $\mu g/m^3 \rightarrow \times 0.8$ (aer curat)
 - 10-15 $\mu g/m^3 \rightarrow \times 1.0$ (poluare moderată)
 - 15-25 $\mu g/m^3 \rightarrow \times 1.3$ (poluare ridicată)
 - >25 $\mu g/m^3 \rightarrow \times 1.6$ (poluare foarte ridicată)
- **Rain cleaning efficiency (eficiența curățare prin ploaie):**
 - <5mm $\rightarrow$ 20% curățare
 - 5-10mm $\rightarrow$ 35-45% curățare
 - 10-25mm $\rightarrow$ 55-70% curățare
 - >25mm $\rightarrow$ până la 80% curățare (niciodată 100%)

Pierdere Anuală Estimată:

$$Pierdere (\%) = SR_{city} \times zile_fara_ploaie_eficienta \times (1 - rain_cleaning_avg)$$

Aceasta formula ia in considerare faptul ca ploaia sub 5mm are eficienta neglijabila (<20%), iar majoritatea zilelor de ploaie in Romania sunt sub acest prag. Astfel, numarul real de zile fara curatare este mai mare decat sugereaza statistica bruta a precipitatiilor.

2.3 Limitari si Transparenta

Este esential sa recunoastem limitările acestui studiu pentru a evalua corect validitatea concluziilor:

- **Fara masuratori directe pe panouri in Romania:** Studiul se bazeaza pe modelare matematica aplicata datelor publice disponibile. Nu au fost instalati senzori de soiling pe teren pentru masuratori in timp real.
- **Lipsa unei retele de monitorizare:** Romania nu dispune de o infrastruktura dedicata de senzori pentru masurarea acumulării de praf pe panouri fotovoltaice.
- **Date meteo anualizate:** Precipitatiile si poluarea sunt medii pe mai multi ani, fara capturarea variabilitatii anuale.
- **Coeficienti adaptati din literatura:** Parametrii modelului sunt extrapolati din studii internationale, NU masurati specific pe climat romanesc.
- **Intervale estimative:** Pierderile sunt exprimate in intervale pentru a reflecta incertitudinea inerenta modelarii.

De ce este totusi valid studiul?

- **Modelul HSU/Coello & Boyle = standard industrial global**
- **Datele EEA/PVGIS = cele mai credibile disponibile**
- **Metodologie transparenta = poate fi replicata**
- **Intervale conservative pentru siguranta estimarilor**

3. Date Nationale - Romania

Analiza contextului national privind factorii care influenteaza soiling-ul: poluarea atmosferica, precipitatiile si radiatia solara.

3.1 Poluare Atmosferica

- **PM2.5 mediu national: 15.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (2023, European Environment Agency)
- **Clasament UE: Locul 9 la poluare** (din 27 state membre)
- **Trend: Descrescator lent din 2018** (era 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- **Standard OMS: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow$ Romania = 3 $\times$ peste limita**

Particulele PM2.5 (particulate matter cu diametru sub 2.5 microni) sunt suficient de fine pentru a se depune uniform pe suprafata panourilor fotovoltaice si suficient de mici pentru a ramane suspendate in aer pe distante lungi.

3.2 Precipitatii

Interval precipitatii	Zone geografice	Risc soiling
<500 mm/an	Dobrogea, Sud-Est litoral	RIDICAT
500-650 mm	Bucuresti, Oltenia, Banat	MEDIU-RIDICAT
650-800 mm	Transilvania, Moldova	MEDIU
>800 mm	Brasov, zone montane	SCAZUT

Important: Precipitatiile sub 5mm/zi au eficienta de curatare de doar 10-20%, ceea ce inseamna ca multe dintre zilele de ploaie nu curata efectiv panourile. In Romania, unde predomina ploile usoare si moderate, efectul de auto-curatare naturala este supraevaluat.

3.3 Radiatie Solara

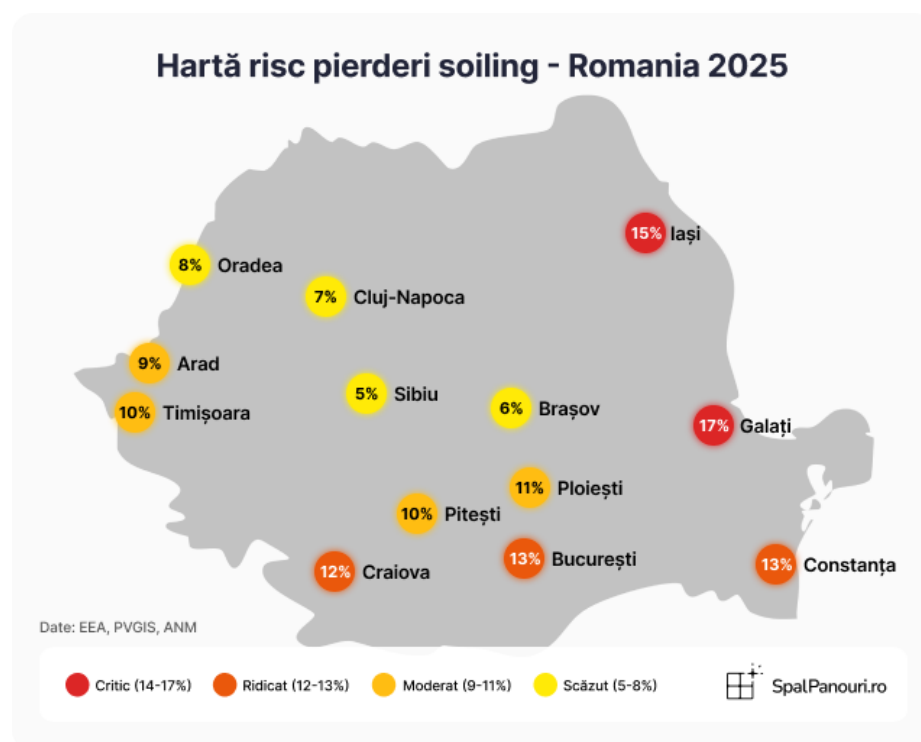
- **Sud/Sud-Est:** 1.387-1.750 kWh/m²/an (Constanta, Craiova, Calarasi) - Potențial solar ridicat
- **Vest/Centru:** 1.200-1.400 kWh/m²/an (Timisoara, Cluj, Sibiu)
- **Nord-Est:** 1.000-1.200 kWh/m²/an (Iasi, Suceava, Botosani)

Radiatia solara ridicata in sudul si sud-estul Romaniei face ca impactul soiling-ului sa fie si mai costisitor: un sistem din Constanta cu radiatie de 1.750 kWh/m²/an pierde mai multa energie decat un sistem identic din Iasi, chiar daca procentul de pierdere este similar.

4. Analiza pe Orase - Coeficienti Soiling

Tabel agregat cu coeficientii de soiling pentru 13 orase majore din Romania, calculati pe baza datelor de poluare si precipitatii.

Oras	PM2.5	Precipitatii	SR (%/zi)	Pierdere anuala
Galati	20.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	489 mm	0.116	14-17%
Iasi	18.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	539 mm	0.101	12-15%
Bucuresti	17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	579 mm	0.087	10-13%
Craiova	16.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	561 mm	0.084	10-12%
Ploiesti	16.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	598 mm	0.077	9-12%
Pitesti	15.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	645 mm	0.069	8-11%
Timisoara	14.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	631 mm	0.065	8-10%
Constanta	14.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	456 mm	0.087	10-13%
Arad	13.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	589 mm	0.065	8-10%
Oradea	13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	621 mm	0.059	7-9%
Cluj-Napoca	12.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	647 mm	0.048	6-7%
Brasov	11.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	698 mm	0.042	5-7%
Sibiu	11.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	698 mm	0.038	5-6%



5. Cazuri Extreme - Pierderi >25%

Aceasta sectiune analizeaza scenariile in care pierderile din soiling pot depasi 25%, atingand limite de pana la 40% in conditii extreme.

5.1 Panouri Orizontale (Inclinare <10 grade)

Studiu de caz: Google Carport Mountain View, California

- **36% pierdere dupa 15 luni** fara curatare
- Tilt: 5 grade (aproape plat)
- Climat: Temperat (similar Romania)
- **Extrapolat 24 luni: aproximativ 40% pierdere**

Aplicabilitate Romania:

- Parcari acoperite (mall-uri, centre comerciale)
- Hale industriale cu acoperis plat
- Pergole solare rezidentiale

Calcul impact: Tilt plat (5 grade) = 5× mai mult soiling decat tilt optim (30 grade). Un panou orizontal cu pierdere normala 8% va avea aproximativ 40% pierdere in acelasi mediu.

5.2 Zone Agricole Intense

Profil risc:

- Ferme pasari (excremente + praf organic)
- Campuri cereale (praf agricol la recoltare)
- Trafic greu pe drumuri neasfaltate
- Precipitatii <500 mm/an (Dobrogea, Baragan)

Pierdere estimata: 20-28% anual

Exemplu calcul: Ferma solara Dobrogea

- SR baseline: 0.12%/zi (similar Galati)
- Coeficient agricol: +0.06
- Coeficient precipitatii scazute: +0.04
- **Total: 0.12 + 0.06 + 0.04 = 0.22%/zi → 28% anual**

5.3 Proximitate Industriala (0-3 km)

Surse poluare majore:

- Rafinarii (Ploiesti - Petromidia, Constanta)
- Cimentarii (Campulung, Fieni, Turda)
- Siderurgie (Galati - ArcelorMittal, Hunedoara)
- Porturi (Constanta, Galati, Braila)

Model dispersie poluare:

$Pierdere_aditionala = Baza \times (emisie_sursa / distanta^2)$

Impact pe distanta:

- **0-1 km: +50-80% pierdere aditionala**
- **1-3 km: +20-40%**
- 3-5 km: +10-15%
- >5 km: Neglijabil

Exemplu real: Panou industrial Galati (2 km de ArcelorMittal)

- Pierdere oras baseline: 15%
- Pierdere aditionala industrial: +30%
- **Total: 15% + 4.5% = aproximativ 20% anual**

5.4 Lipsa Curatarii 2+ Ani

Pakistan Study (PLOS ONE 2024):

- **37% pierdere** la densitate praf 18.15 g/m² (5 saptamani)
- Climat: Semi-arid (similar Dobrogea vara)
- **Extrapolat 2 ani: plateau la 40%**

Limita fizica: De ce NU poate depasi 40%?

- Peste 40%, murdaria devine stratificata si se desprinde partial
- Proprietarul observa scaderea dramatica si reactioneaza
- Ploaia curata totusi partial (chiar si 2mm/luna)
- Vantul suporta particulele mari

5.5 Tabel Sumar Cazuri Extreme

Scenariu	Pierdere	Conditii	Surse
Panouri orizontale	36-40%	Inclinare <10°, 15-24 luni	Google 2009
Zone agricole	20-28%	Praf + excremente, <500mm ploaie	Spirit Energy, CA
Proximitate industrie	20-30%	0-3 km de surse majore	Modele dispersie
Lipsa curatarii 2+ ani	35-40%	Inclinare optim, climat uscat	PLOS ONE 2024

6. Comparatii Internationale

6.1 Romania vs Orientul Mijlociu (Desert)

Aspect	Desert (Dubai, Arabia)	Romania	Observatii
Pierderi soiling	40% (extreme)	15-25% (urban, 12 luni)	RO = 38-62% din desert
Precipitatii	100 mm/an	430-650 mm/an	RO = 4-6× mai multa ploaie
Curatare naturala	Practic ZERO	Partiala (>5mm/ploaie)	Avantaj RO
Frecventa curatare	Lunar (robotic obligatoriu)	Bianuala minimum	RO mai putin intensiv

6.2 Romania vs California

Aspect	California (urban)	Romania
Pierderi soiling	0.051%/zi (18.6%/an)	0.045-0.055%/zi (16-20%/an)
PM2.5	12 µg/m³	15.7 µg/m³ (30% mai poluata)
Recuperare curatare	36% (Google carport)	Aplicabil direct
Prag ploaie eficienta	2.54mm (0.1 inch)	2.54mm (universal)

Concluzie: Romania prezinta un profil aproape identic cu California urbana in ceea ce priveste dinamica soiling-ului. Studiile din California sunt direct aplicabile pentru Romania.

6.3 Romania vs Europa de Vest

Tara	PM2.5 (µg/m³)	Precipitatii (mm)	Pierderi soiling estimate
Germania	10-12	600-800	10-12%
Franta	11-13	600-700	11-13%
UK	9-11	800-1200	8-10% (ploaie abundenta)
Romania	15.7	430-650	14-25%
Bulgaria	18-20	500-600	18-28% (cel mai poluat EU)

Concluzie: Romania NU se afla in conditii de desert (deci nu prezinta pierderi de 40%), dar inregistreaza niveluri de poluare cu 30-50% mai ridicate decat media Europei Occidentale.
Rezultat: pierderi dublate fata de Germania sau Franta.

7. Impact Financiar National

7.1 Calcul Pierderi Totale Romania

Formula:

Pierdere anuala = Putere instalata × Productie medie × % pierdere × Pret energie

Date 2024-2025:

- **Putere instalata:** 7.6 GW = 7.600.000 kW (ANRE 2025)
- **Productie medie:** 1.300 kWh/kWp/an (PVGIS mediu RO)
- **Total productie potentiala:** 9.880.000.000 kWh/an
- **Pierdere soiling medie:** 13% (conservativ din interval 10-17%)
- **Energie pierduta:** 1.284.000.000 kWh/an
- **Pret mediu energie:** 0.15 EUR/kWh (ponderat retail + angro)

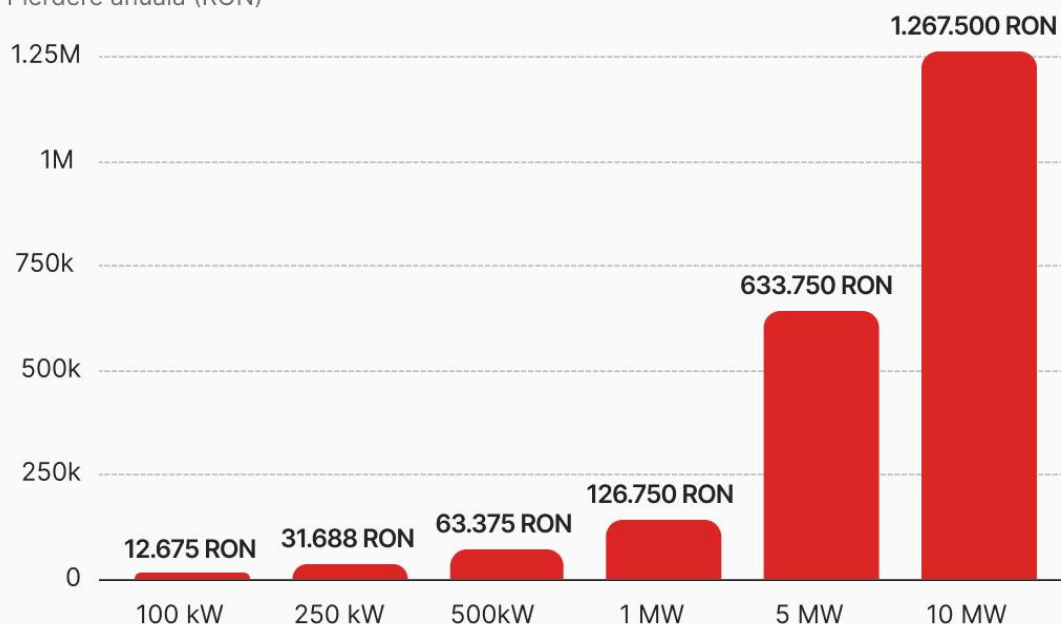
PIERDERE FINANCIARA NATIONALA: 193 milioane EUR/an

Interval conservativ: 110-196 mil EUR, in functie de procentul de pierdere aplicat (10-15%).

Pierderi financiare anuale cauzate de panouri fotovoltaice necurățate

Estimare bazată pe 13% pierdere de producție și 0,75 RON/kWh

Pierdere anuală (RON)



Sursă date: PVGIS (producție), studiu (pierdere 13%),
ANRE (preț comercial 0.75 RON/kWh)

 SpalPanouri.ro

8. Analiza Perioadei de Recuperare a Investitiei in Curatare

8.1 Rezidential - Bucuresti

Sistem 10 kW:

- Productie anuala: 13.000 kWh (1.300×10)
- **Pierdere soiling 11.5%: 1.495 kWh/an**
- **Valoare pierduta: 1.495×0.88 RON (preț mediu retail prosumatori) = 1.316 RON/an**

Cost curatare:

- $3 \text{ EUR/kW} \times 10 \text{ kW} = 30 \text{ EUR} = 150 \text{ RON}$
- Frecventa recomandata: $2 \times / \text{an} = 300 \text{ RON/an}$

Recuperare:

- Curatare profesionala: 70% din pierdere
- $1.495 \times 70\% = 1.047 \text{ kWh recuperat}$
- **Valoare: $1.047 \times 0.88 = 921 \text{ RON}$**

Multiplicator rentabilitate = $3.07 \times$ | Perioada de recuperare: 3.9 luni

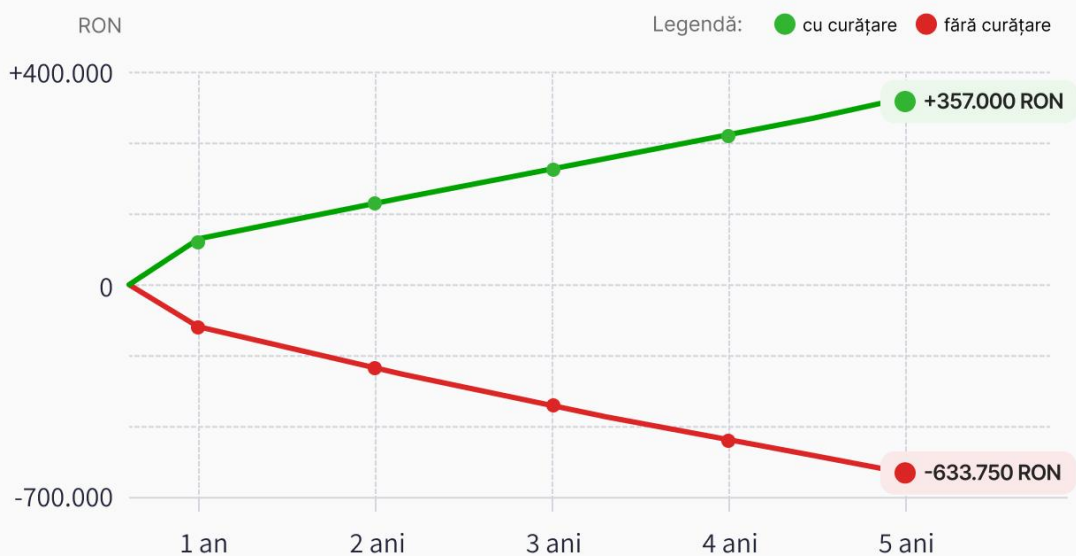
8.2 Tabel Sumar Perioada de Recuperare pe Orase

Tip sistem	Pierdere/an	Cost curatare	Recuperare	Multiplicator	Timp amortizare
Rez 10kW Cluj	780 RON	300 RON	546 RON	1.82×	6.6 luni
Rez 10kW Bucuresti	1.316 RON	300 RON	921 RON	3.07×	3.9 luni
Rez 10kW Galati	1.773 RON	300 RON	1.241 RON	4.14×	2.9 luni
Comercial 1 MW	126.750 RON	30.000 RON	101.400 RON	3.38×	3.5 luni

Concluzie generala: Multiplicatori de rentabilitate 2-6× cu perioade de recuperare 3-7 luni reprezinta una dintre cele mai eficiente interventii tehnice pentru maximizarea randamentului sistemelor fotovoltaice.

Proiecție 5 Ani - cu versus fără curățare

(Sistem 1 MW București)



~1 MILION RON Diferența în 5 ani între a curăța și a nu curăța

9. Concluzii si Recomandari

9.1 Concluzii Cheie

1. Soiling-ul = factor tehnic major ignorat in Romania

Pierderi de 12-25% anual in mediul urban, 193 mil EUR pierdere nationala, prosumatori pierd echivalentul unei facturi intregi/an.

2. Romania - pozitie nefavorabila comparativ cu Europa Occidentala

Nu suntem in conditii de desert (deci nu 40% pierderi), dar cu 30-50% mai poluata decat Vestul EU. Rezultat: pierderi dublate fata de Germania/Franta.

3. Curatarea = interventie tehnica cu eficienta ridicata

Multiplicatori de rentabilitate 2-6× in functie de oras, perioade de recuperare 3-7 luni, recuperare 60-90% din pierderi.

4. Primul studiu national

NU existau date dedicate pentru Romania. Metodologie transparenta, replicabila, bazata pe surse oficiale (EEA, ANRE, PVGIS).

5. Variabilitate mare geografica

Galati (14-25%) vs Cluj (6-7%) = diferenta de 2.5×. Necesitate personalizare recomandari pe orase.

9.2 Recomandari Nationale

Pentru proprietari panouri:

- Minimum 2 curatari/an (primavara + toamna)
- Monitorizare productie lunara pentru detectare timpurie
- Curatare profesionala pentru sisteme >10 kW
- Evitati curatarea in conditii extreme (inghet, arsita)

Pentru instalatori:

- Informati clientii despre soiling la instalare
- Includeti calcul pierderi in propuneri comerciale
- Recomandati contract mentenanta (inclusiv curatare)

Pentru autoritati (ANRE, AFIR):

- Educatie publica despre impactul soiling
- Include curatarea in cerinte tehnice pentru fonduri
- Monitorizare nationala productie vs. estimari

9.3 Calculator Gratuit

Pentru a estima pierderile specifice sistemului dumneavoastra, am dezvoltat un calculator online care aplică metodologia din acest studiu adaptată locației și caracteristicilor instalației.

Accesați calculatorul: <https://www.spalpanouri.ro/calculator-pierderi-panouri-fotovoltaice>

10. Limitările Studiului

Pentru interpretarea corectă a rezultatelor, este esențial să se cunoască limitările acestei analize:

- **Modelul HSU este calibrat internațional:** Pot exista variații locale punctuale care nu sunt capturate de modelul general.
- **Date PM_{2.5}/PM₁₀ sunt medii anuale:** Nu surprind varfurile zilnice de poluare care pot amplifica temporar soiling-ul.
- **Precipitațiile sunt medii climatice pe 30 de ani:** Distribuția reală poate varia pe termen scurt în funcție de an.
- **Nu sunt incluse micro-turbulente locale:** Umbre parțiale, tipul exact de panou sau particularități ale montajului nu sunt modelate.
- **Pierderile extreme nu sunt normative:** Valorile de 40% sunt documentate experimental în condiții specifice, nu reprezintă normalitate.
- **Recuperarea prin curățare depinde de multiple variabile:** Nivelul inițial al murdăriei, tehnologia utilizată și frecvența curățărilor anterioare influențează rezultatele.

Aceste limitări nu afectează validitatea concluziilor generale, dar trebuie cunoscute pentru interpretarea corectă a rezultatelor.

11. Bibliografie

Surse Oficiale Europene:

1. European Environment Agency (2023). Air Quality Database 2018-2023. PM2.5 and PM10 measurements for Romanian cities. Disponibil: <https://www.eea.europa.eu/>
2. PVGIS - Photovoltaic Geographical Information System. European Commission Joint Research Centre. Solar irradiation database 2005-2020. Disponibil: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
3. ANRE - Autoritatea Nationala de Reglementare in Domeniul Energiei (2024). Capacitate instalata fotovoltaica Romania Q3 2024. Raport trimestrial.

Surse Stiintifice Peer-Reviewed:

4. Coello, J. & Boyle, L. (2019). Simple Model for Predicting Time Series Soiling of Photovoltaic Panels. IEEE Journal of Photovoltaics, 9(5), 1382-1387. DOI: 10.1109/JPHOTOV.2019.2919628
5. Ilse, K., Micheli, L., Figgis, B.W., et al. (2019). Techno-Economic Assessment of Soiling Losses and Mitigation Strategies for Solar Power Generation. Joule, 3(10), 2303-2321.
6. Micheli, L. & Muller, M. (2017). An investigation of the key parameters for predicting PV soiling losses. Progress in Photovoltaics, 25(4), 291-307.
7. Picotti, G., Borghesani, P., Cholette, M.E., Manzolini, G. (2018). Soiling of solar collectors - Modelling approaches for airborne dust and its interactions with surfaces. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2343-2357.
8. PLOS ONE (2024). Impact of dust accumulation on the performance of solar panels: A comprehensive study from Pakistan. DOI: 10.1371/journal.pone.0298102

Rapoarte Institutionale:

9. NREL - National Renewable Energy Laboratory (2020). Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems. Technical Report NREL/TP-7A40-74925.
10. Fraunhofer ISE (2023). Photovoltaics Report. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Freiburg, Germany.
11. IEA PVPS Task 13 (2018). Review on Infrared and Electroluminescence Imaging for PV Field Applications. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme.

Studii de Caz:

12. Google (2009). Photovoltaic array performance and fault analysis: Mountain View carport study. Google Technical Report.
13. Kimber, A., Mitchell, L., Nogradi, S., Wenger, H. (2006). The Effect of Soiling on Large Grid-Connected Photovoltaic Systems in California and the Southwest Region of the United States. IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion.

Surse Nationale Romania:

14. RPIA - Asociatia Romana de Panouri Fotovoltaice (2024). Evolutia pietei fotovoltaice din Romania 2023-2024.
15. ANM - Administratia Nationala de Meteorologie. Date climatice medii 1991-2020 pentru orasele Romaniei.
16. Climate-data.org (2024). Precipitation database Romania. Average 30-year data per city.

12. Anexe

Anexa A: Tabel Complet Coeficienti Soiling

Oras	PM2.5	PM10	Precipitatii	SR (%/zi)	Pierdere anuala
Galati	20.8	28.5	489 mm	0.116	14-17%
Iasi	18.5	26.2	539 mm	0.101	12-15%
Bucuresti	17.2	24.8	579 mm	0.087	10-13%
Craiova	16.8	24.1	561 mm	0.084	10-12%
Ploiesti	16.5	23.7	598 mm	0.077	9-12%
Pitesti	15.9	22.9	645 mm	0.069	8-11%
Timisoara	14.7	21.2	631 mm	0.065	8-10%
Constanta	14.2	20.5	456 mm	0.087	10-13%
Arad	13.8	19.9	589 mm	0.065	8-10%
Oradea	13.1	18.9	621 mm	0.059	7-9%
Cluj-Napoca	12.3	17.8	647 mm	0.048	6-7%
Brasov	11.8	17.0	698 mm	0.042	5-7%
Sibiu	11.1	16.0	698 mm	0.038	5-6%

Anexa B: Formule Matematiche Complete

Formula Master Soiling Loss Rate:

$SR_{city} = 0.08 \times PM_{mult} \times (P_{ref} / P_{city}) \times seasonal_{mult}$

PM Multiplier:

$PM_{mult} = (PM2.5_{city} / 12)^{0.8}$

Pierdere Anuala:

$Loss_{annual} (\%) = SR_{city} \times days_{no_effective_rain} \times (1 - rain_{clean_avg})$

Rain Cleaning Efficiency:

IF rain < 5mm THEN eff = 20%

IF rain 5-10mm THEN eff = 40%

IF rain 10-25mm THEN eff = 65%

IF rain >25mm THEN eff = 80%

13. Contact si Feedback

Pentru intrebari, sugestii sau colaborari legate de acest studiu, va rugam sa ne contactati:

Email: contact@allesro.com

Pagina cu detaliile studiului:

www.spalpanouri.ro/studiu-pierderi-panouri-fotovoltaice-romania

Website: www.spalpanouri.ro

Companie: Allesro SRL (CUI: RO38385427)

Copyright © 2026 SpalPanouri.ro

Licenta: CC BY-NC-SA 4.0 (Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International)

Permis: Citare cu atribuire, folosire educationala, distribuire cu licenta identica.

Interzis: Uz comercial fara acordul scris al SpalPanouri.ro, modificare fara mentionare.