



MINISTERUL CERCETĂRII,
INOVĂRII ȘI DIGITALIZĂRII



MINISTERUL EDUCAȚIEI



Administrația
Prezidențială



ACADEMIA ROMÂNĂ

uefiscodi

Smart Diaspora 2023

10 - 13 Aprilie 2023,
Timișoara

www.diaspora-stiintifica.ro

Eveniment aflat sub înaltul patronaj
al Președintelui României



UV Universitatea de Vest
din Timișoara



UNIVERSITATEA
DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
VICTOR BABEȘ | TIMIȘOARA

UP Universitatea
Politehnică
Timișoara



Sisteme fotovoltaice hibride pentru Smart Cities

Monica Siroux



INSA Strasbourg scoala de ingineri - INSA GROUP

Department Energetica

- **2 Specialitati Electrica si Termica**
- **20 profesori, 300 studenti**

ICUBE

- **Echipa de cercetare Energetica**
- **1 Profesor, 7 Assistant professor, 4 PHD, 1 post doc**



ICube laboratory - UMR 7357
INSA of Strasbourg
24 bd de la Victoire
67084 Strasbourg Cedex
France



ICube laboratory - UMR 7357
2 rue Boussingault
67000 Strasbourg
France

Colaborare Grupul INSA – ARUT

Grupul INSA



ARUT Universitatea Politehnica București,
Timisoara, Cluj-Napoca, Iași, UTCB



Double-diplome 2017 - reînnoită UPB București 2022



2^{ème} et 3^{ème} Scoala de Vara UPB INSA 2021, 2022



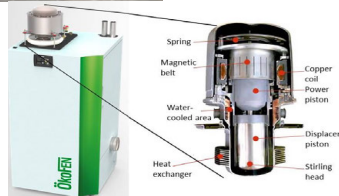
Colaborare cercetare

COLLOQUE FRANCOPHONE EN ÉNERGIE, ENVIRONNEMENT, ÉCONOMIE THERMODYNAMIQUE



Optimizare sisteme micro-cogenerare energie renouvelabila (solara, biomase)

Dezvoltare cooperarii scientifice INSA ICUBE - UPB



TEME CERCETARE

Echipamente energetice: Micro cogenerare, pompe caldura, PV

- Modelizare
- Studii experimentale
- Optimizarea eficacitatii sistemelor

Clădiri sustenabile:

- Dezvoltarea și caracterizarea pereți inovanti
- Metodologii de analiză a performanței energetice în clădiri
- BIM

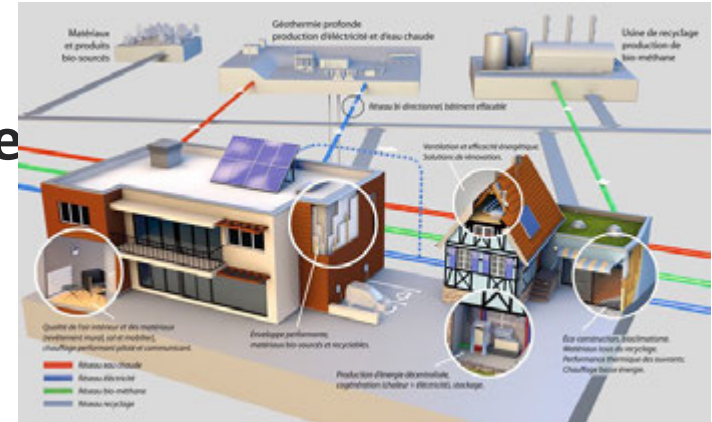
PLAN

- **Context**
- **Ce sunt panourile solare hibride PVT ?**
- **Elemente bibliografice**
- **Activități de cercetare ICUBE**
- **Concluzii**

CONTEXT

Politica energetica în Europa :

- Clădiri cu consum redus de energie
- Clădiri cu energie pozitivă
- Smart grid



Energia solară prezintă avantaje - adecvată pentru a face față provocărilor energetice actuale.

TEHNOLOGII SOLARE

- Există 2 tehnologii solare : termică și fotovoltaică
- Tehnologia solară termică utilizează energia solară pentru a genera energie termică.



- Tehnologia fotovoltaică transformă energia solară în energie electrică.



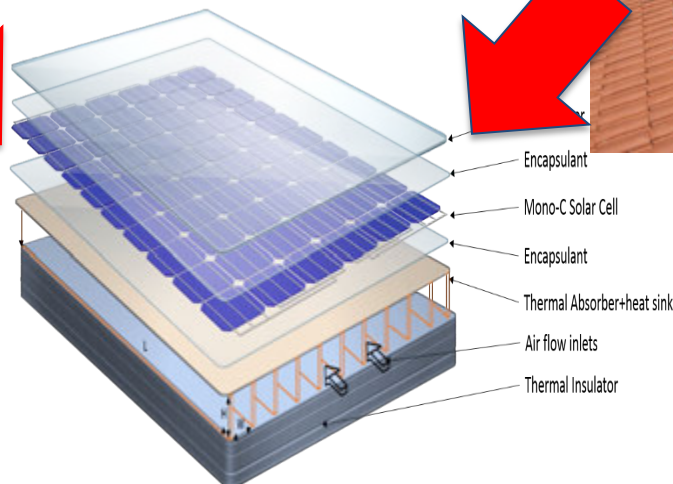
- Pentru PV, o parte din radiația solară nu este convertită în energie electrică, ci contribuie la creșterea temperaturii PV, reducând eficiența electrică a PV.
- Aceasta constituie baza pentru cercetarea și dezvoltarea sistemelor hibride PVT.

Ce sunt panourile hibride ?

Un sistem solar hibrid PVT este o combinație de sistem fotovoltaic (PV) și sistem solar termic (T).

Un sistem solar hibrid PVT produce energie electrică și căldură în același timp.

IMPORTANT : Un sistem solar eficace

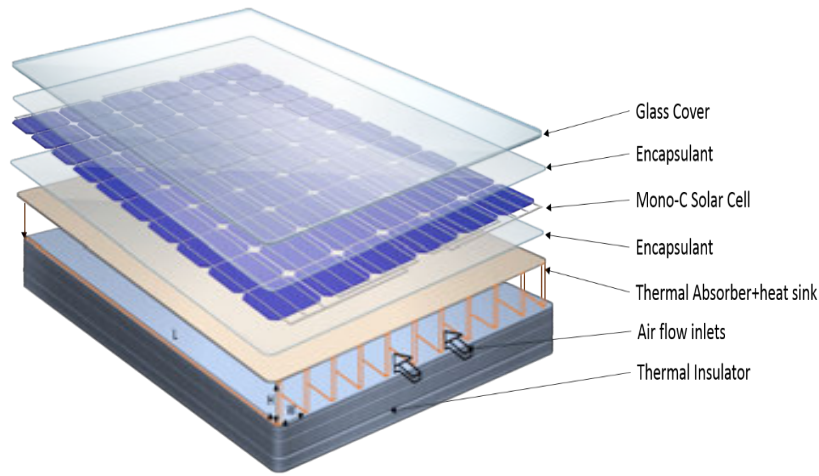


BENEFICII ale PVT

De ce este interesant sa utilizam PVT ?

Pentru că utilizarea tehnologiei PVT permite :

- Producerea simultana de căldură și de electricitate
- Răcirea PV (pentru a crește eficiența PV trebuie să fie răcit)
- Performanțe mai bune (eficiență totală de peste 50 %)
- Reducerea costurilor de producție și de instalare



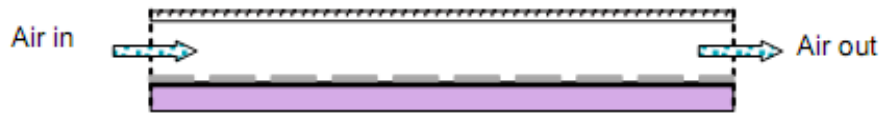
ANALIZA BIBLIOGRAFICA PVT

În ultimele decenii s-au efectuat cercetări semnificative în domeniul tehnologiilor PVT.

În ultimii ani au apărut pe piață multe tipuri de PVT hibride:

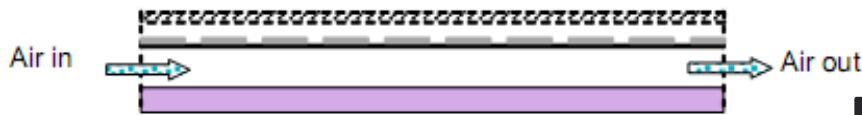
- PVT cu aer**
- PVT cu apă**
- tehnologii fotovoltaice cu concentrator CPVT**

HYBRID PVT AER

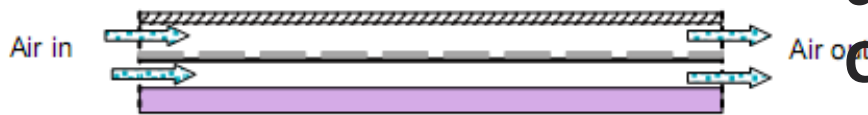


(a) Channel above PV

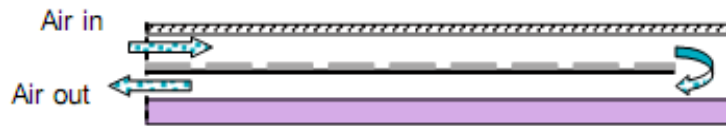
Front cover (optional)



(b) Channel below PV



(c) PV between single pass channels



(d) Double pass design

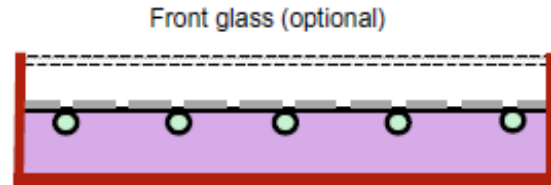


Există multe tipuri de sisteme solare cu aer.

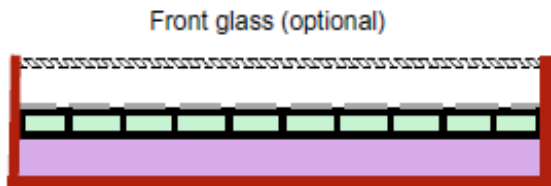
Circulație naturală sau forțată
Eficiență mai mică decât cele de tip apă

Aplicații : uscare, încălzire, cuplare cu pompa de căldură

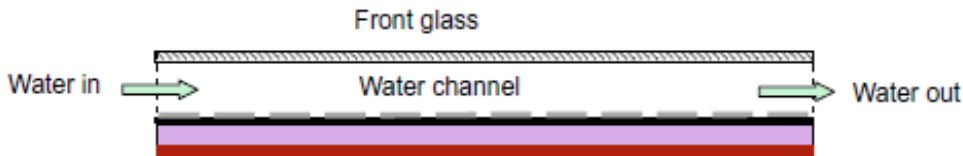
HYBRID PVT APA



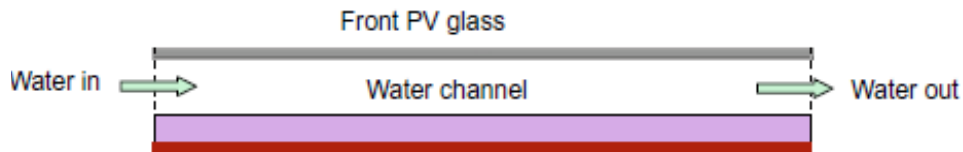
(a) Sheet-and-tube design



(b) box channel design



(c) Channel above PV design



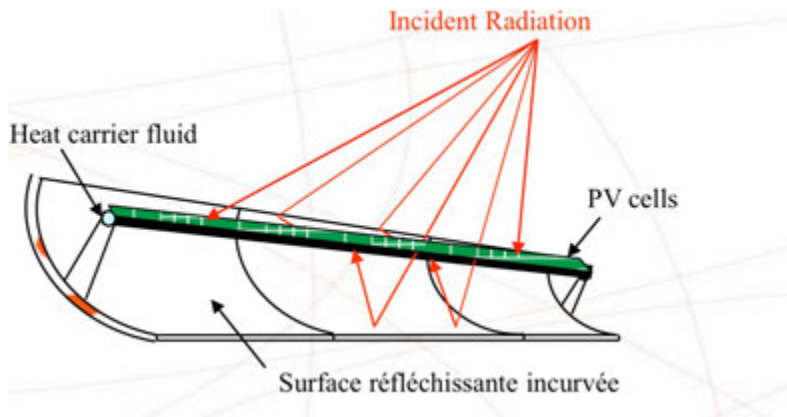
(d) Channel below PV (transparent) design



Convecție forțată
Mai eficient decât tipul de aer
Aplicațiile sunt sistemele de
încălzire a apei menajere

CPVT concentrator fotovoltaic

PVT collector + concentrator



Cum funcționează?

Există un reflector parabolic combinat cu circulația apei.

Acesta generează:

Eficiență termică ridicată

Eficiență electrică scăzută (iradiere fotovoltaică neuniformă, temperatură ridicată)

Exemplu: Concentrator pentru parcare

Performante PVT

Am indicat curbe tipice de eficiență termică și electrică pentru un PVT.

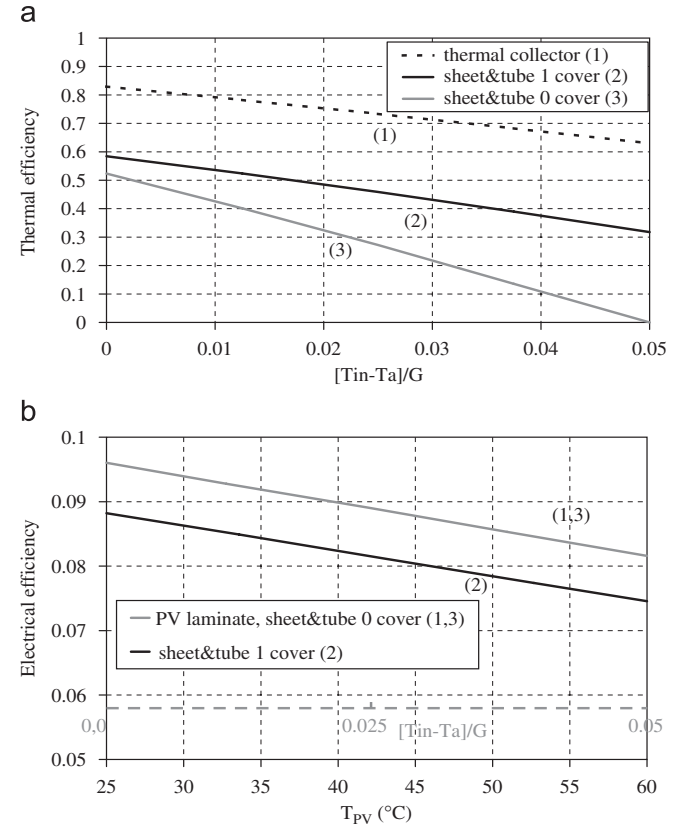
Eficiența termică depinde de radiația solară G , de temperatura fluidului și de temperatura mediului ambiant.

$$\eta_t = \frac{m \cdot Cp \cdot (T_o - T_i)}{A \cdot G}$$

Eficiența electrică : Depinde în principal de radiația solară și de temperatura PV.

$$\eta_e = \frac{I \cdot V}{A \cdot G}$$

Din punct de vedere termic, un PVT este similar cu un colector solar termic. Un randament bun necesită o absorbție solară importantă și un transfer de căldură eficient. Iar eficiența electrică este o funcție de temperatură



Efectul Temperaturii

Eficiența celulelor fotovoltaice scade odată cu creșterea temperaturii. Efectul temperaturii este dat de formula:

$$\eta_{PV} = \eta_{PV, T=25^{\circ}\text{C}}(1 - \beta[T - 25^{\circ}\text{C}]).$$

**Coeficientul depinde de materialul utilizat:
aproximativ 0,45%/K pentru siliciu cristalin și 0,25%/K pentru CdTe.**

Pentru un colector care utilizează siliciu policristalin, efectul temperaturii conduce la o scădere de 2% a randamentului electric

PVT pe piață

PVT există pe piață.

Acest tabel este o cartografie a PVT

Markets (in order of size)	Type of application	Liquid modules glazed	Liquid modules unglazed	Liquid modules unglazed with heat pump	Air modules glazed	Air modules unglazed	Ventilated PV with heat recovery	PV/T concentrators
Consumers	Domestic hot water	+++						
	Domestic space heating & hot water	+		+++	+			
	Collective hot water	++						+++
	Collective space heating & hot water	++						+
	Pool heating		+++					
Tertiary	Collective hot water	++						++
	Collective space heating & hot water	+		+				+
	Office space heating	+		++	+++	+++	+++	
	Solar cooling				+	+	++	++
	Public pool heating	++	++					
Agriculture	Solar drying				+	+		
	Hot water	+	+					
Industry	Industrial process heat	+	+					+
	Industrial space heating			+		+	+	
	Solar cooling							+

Market segments of PVT Future markets +++ Niche markets + and ++

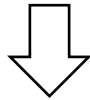
Dispozitivele PVT pot fi foarte diferite din punct de vedere al designului, de la sisteme PVT pentru apă caldă, la fațade PV ventilate și concentratoare PV.

Activități de cercetare ICUBE

Activități :

Modelare

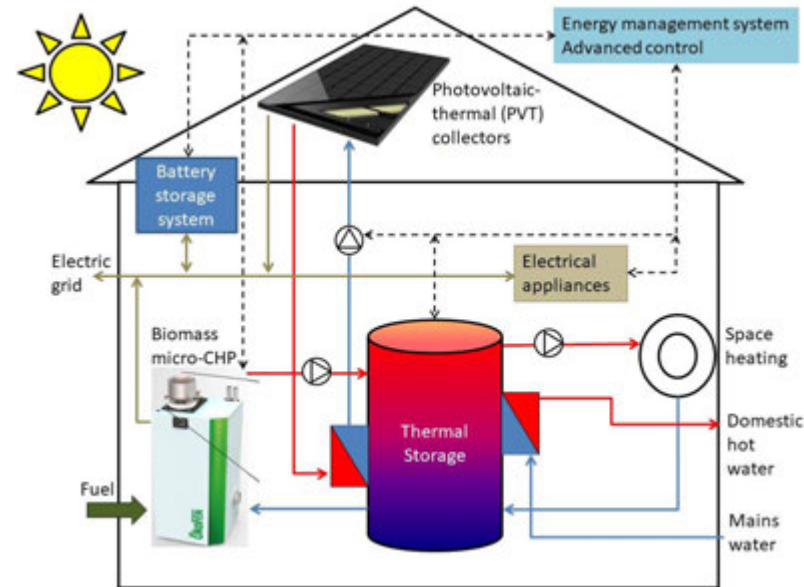
π



Studii Experimentale



Optimizare



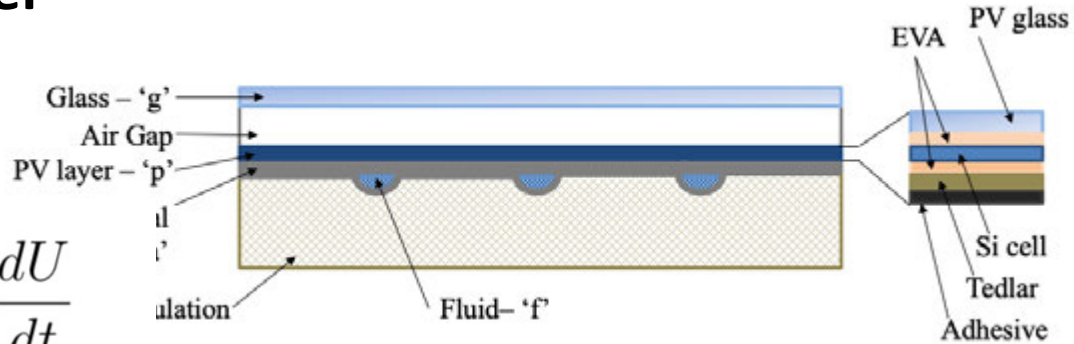
Modelizare

Exemplu de modelizare : prototip PVT cu apă

Conservarea energiei

Pentru fiecare strat

$$Mc \frac{dT}{dt} = AH\rho c \frac{dT}{dt} = \frac{dU}{dt}$$



Property	Glass	Air gap	PV	Thermal absorber	Fluid	Insulation	Unit
Emissivity (ϵ)	0.9	-	0.96	-	-	-	-
Absorbance (α)	0.1	-	0.9	-	-	-	-
Transmittance (τ)	0.93	-	-	-	-	-	-
Thickness (H)	0.004	0.02	0.006	0.001	-	0.04	m
Density (ρ)	2200	-	2330	2699	1050	16	kg/m ³
Specific heat (c)	670	-	900	800	4000	1120	J/(kgK)
Thermal conductivity (k)	1.1	*	140	237	*	0.035	W/(mK)

*varies with temperature

Date meteorologice

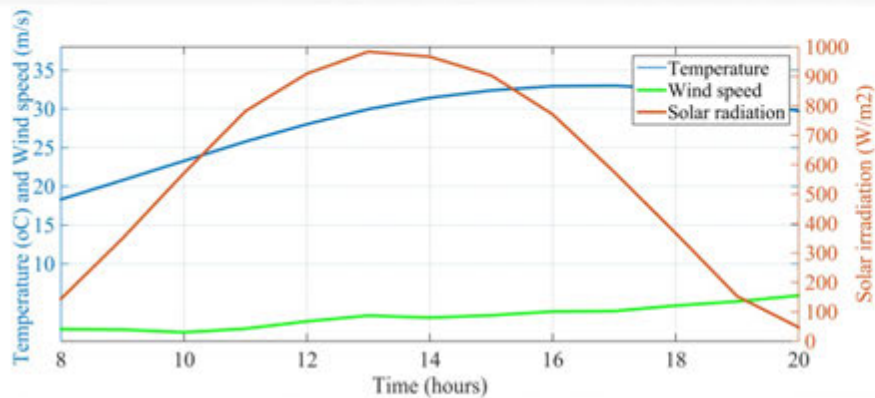
Temperatura, viteza vântului, radiația solară



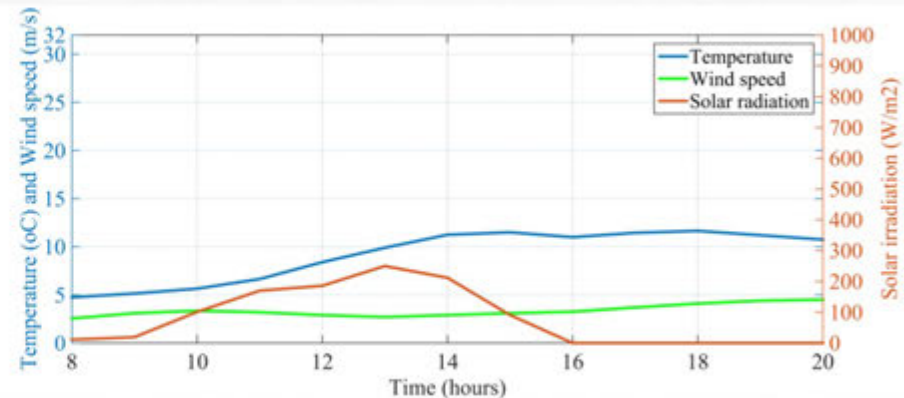
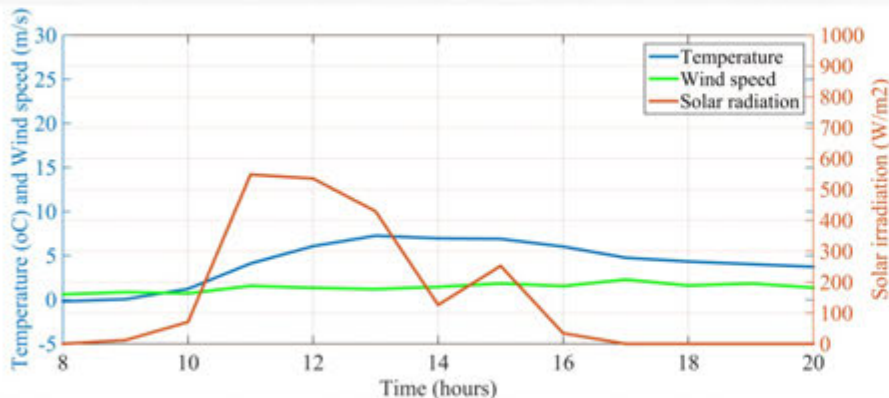
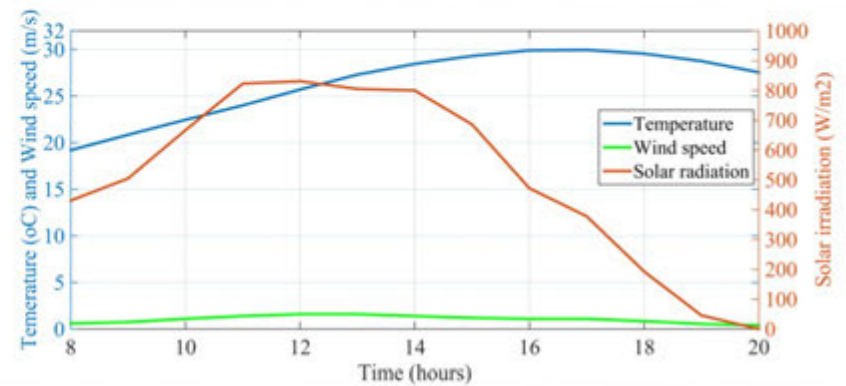
M. Barbu
G. Darie

Am efectuat simulări de temperatură pentru o zi tipică de vară și de iarnă.

Bucharest



Strasbourg

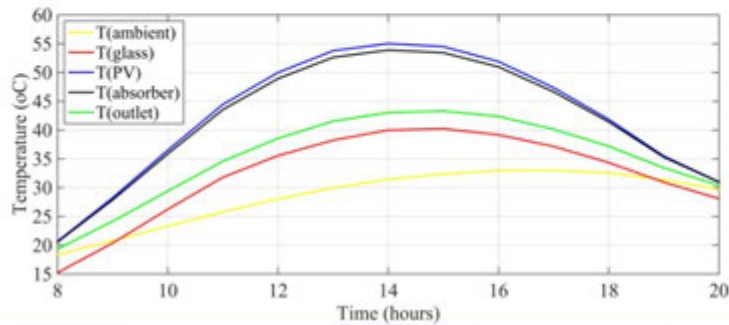


Temperatura

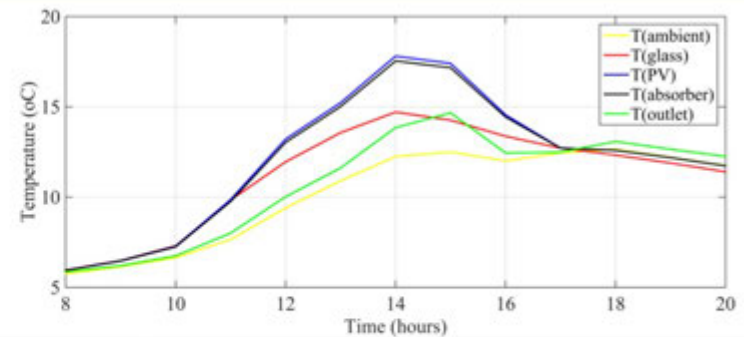
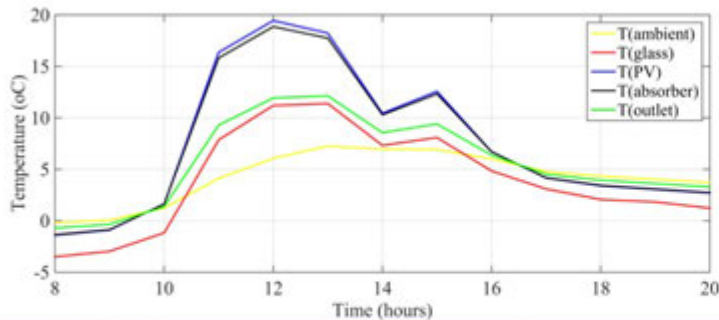
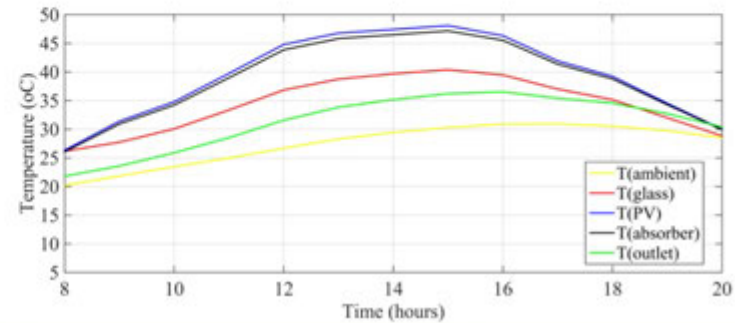
Având în vedere aceste condiții : evoluția temperaturii straturilor PVT pe parcursul unei zile pentru o zi tipică de vară și de iarnă

Stratul PV și stratul absorbant ating cele mai ridicate temperaturi.

Bucharest



Strasbourg

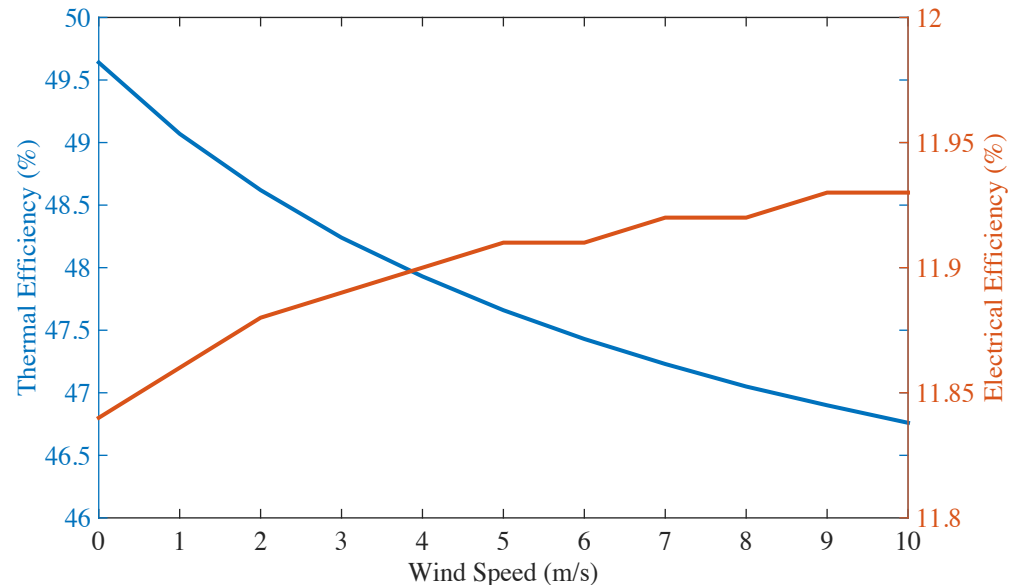


Evoluția T în funcție de timp a straturilor PVT pe parcursul unei

Analiza Parametrica

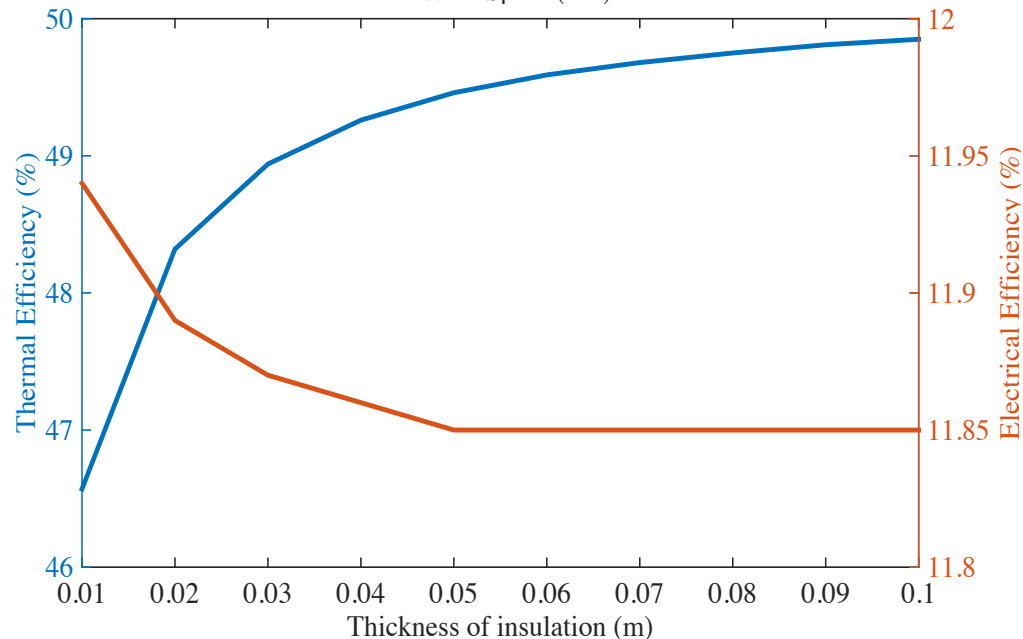
Se analizează variația vitezei vântului

- Creșterea vitezei vântului are ca rezultat un coeficient de convecție forțată mai mare.
- Scăderea performanței termice este mai semnificativă decât creșterea performanței electrice.



Se analizează influența izolației

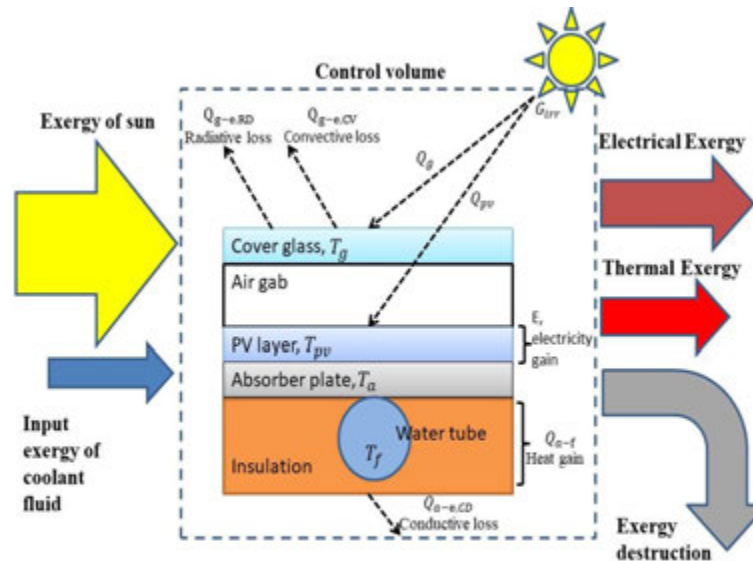
Efectul asupra performanței termice este mai semnificativ.



Analiza Exergetica

Metoda Exergetica : Analiza calității energiei produse

Analiza exergiei ajută la înțelegerea gradului de utilitate a căldurii produse



Exergy balance

$$\sum EX_{in} - \sum (EX_{th} + EX_{el}) = \sum EX_d,$$

Thermal exergy

$$EX_{th} = \dot{m}c_f \left[(T_{out} - T_{in}) - T_0 \ln \frac{T_{out}}{T_{in}} \right],$$

Electrical exergy

$$EX_{el} = \eta_{pv} G_{irr} rA$$

Exergy efficiency

$$\xi_{th} = \frac{EX_{th}}{EX_{in}}$$

Optimizare Multi-Objective

A fost realizată o optimizare multi-obiectiv.

Obiectivul a fost de a găsi diferite soluții optime de proiectare pentru PVT.

S-a utilizat Matlab -Optimization Toolbox

Funcția gamultiobj creează un set de soluții optime în spațiul variabilelor de decizie de pe frontul Pareto.

Funcțiile obiective

**Exergia electrică, termică
eficiență energetică**

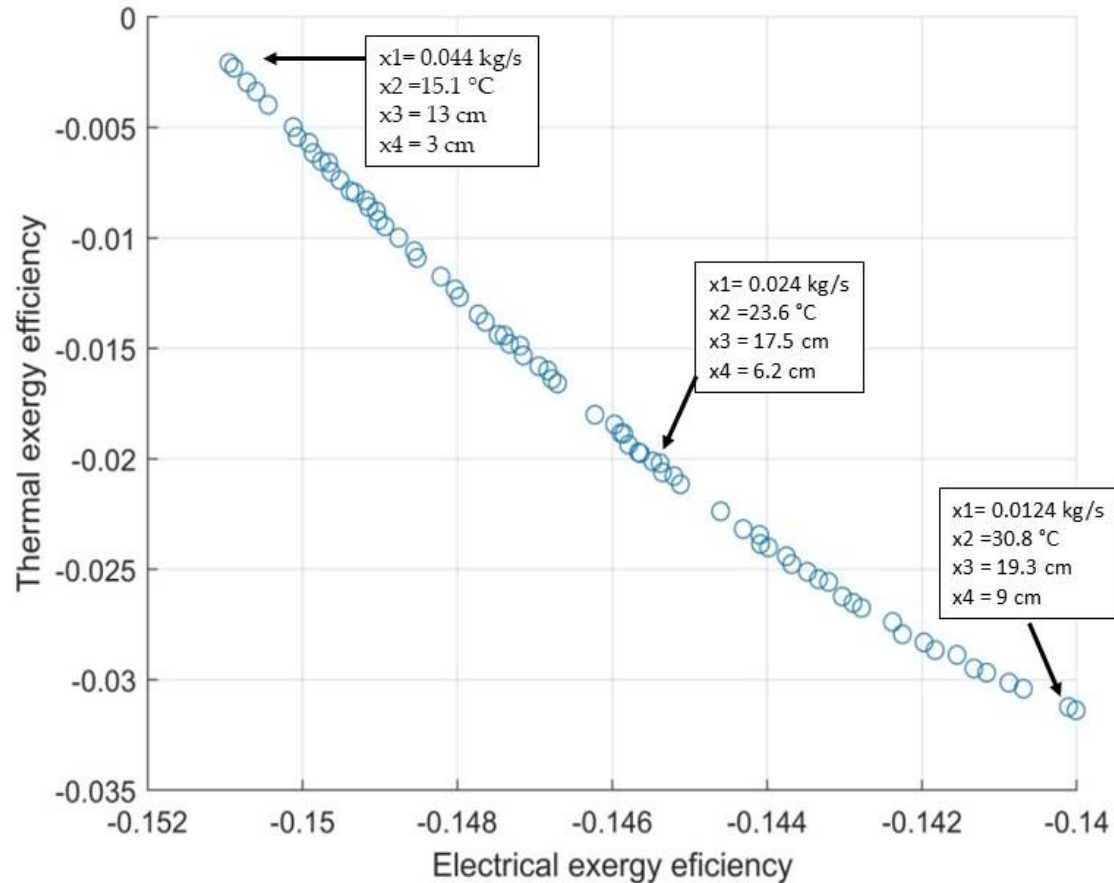
$$f_1(\mathbf{x}) = -\frac{Ex_{el}}{Ex_{in}} = -\frac{\eta_{STC}[1 - \beta_{PV}(T_{pv} - T_{ref})]G_{irr}A_{pv}}{AN_c G_{irr} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{sol}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sol}}\right)^4\right)} = -\xi_{el},$$

$$f_2(\mathbf{x}) = -\frac{Ex_{th}}{Ex_{in}} = -\frac{\dot{m}c_f \left[(T_{out} - T_{in}) - T_0 \ln \frac{T_{out}}{T_{in}}\right]}{AN_c G_{irr} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{sol}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sol}}\right)^4\right)} = -\xi_{th}$$

Decision variables for multi-objective optimization problem.

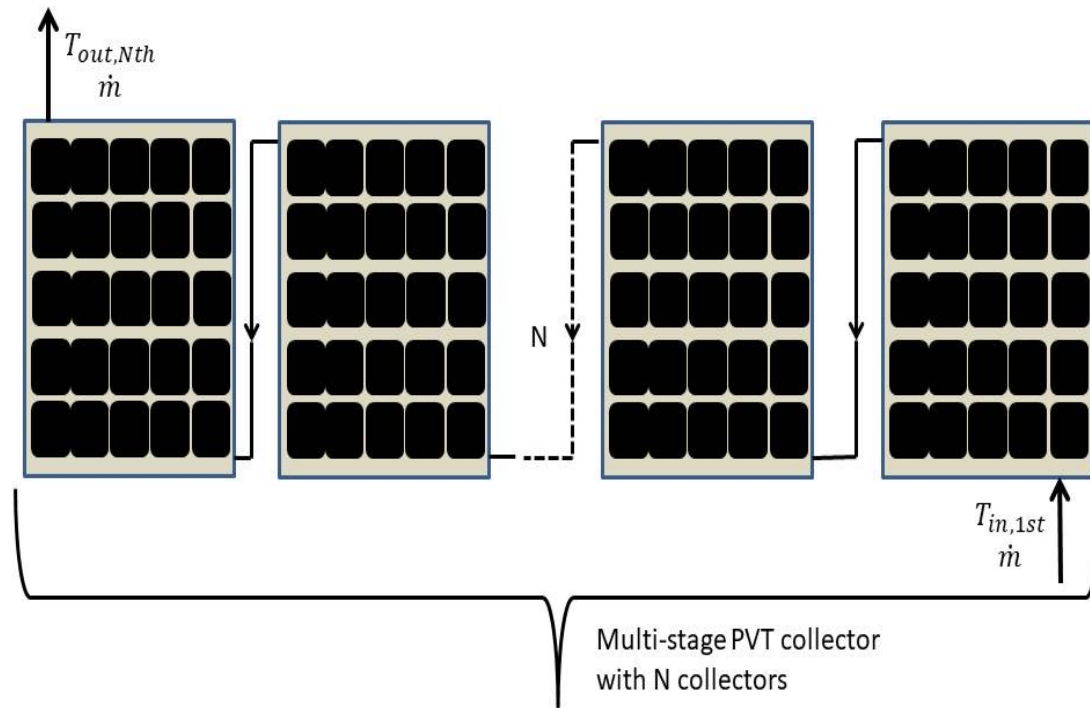
Symbol	Decision Variable	Bounds	Unit
\dot{m}	Fluid mass flow rate	$0.0083 \leq x(1) \leq 0.044$	kg/s
T_{in}	Inlet temperature	$15 \leq x(2) \leq 45$	°C
H_{gap}	Air gap thickness	$0.02 \leq x(3) \leq 0.25$	m
H_i	Insulation thickness	$0.015 \leq x(4) \leq 0.09$	m

Optimizare Multi-Objective



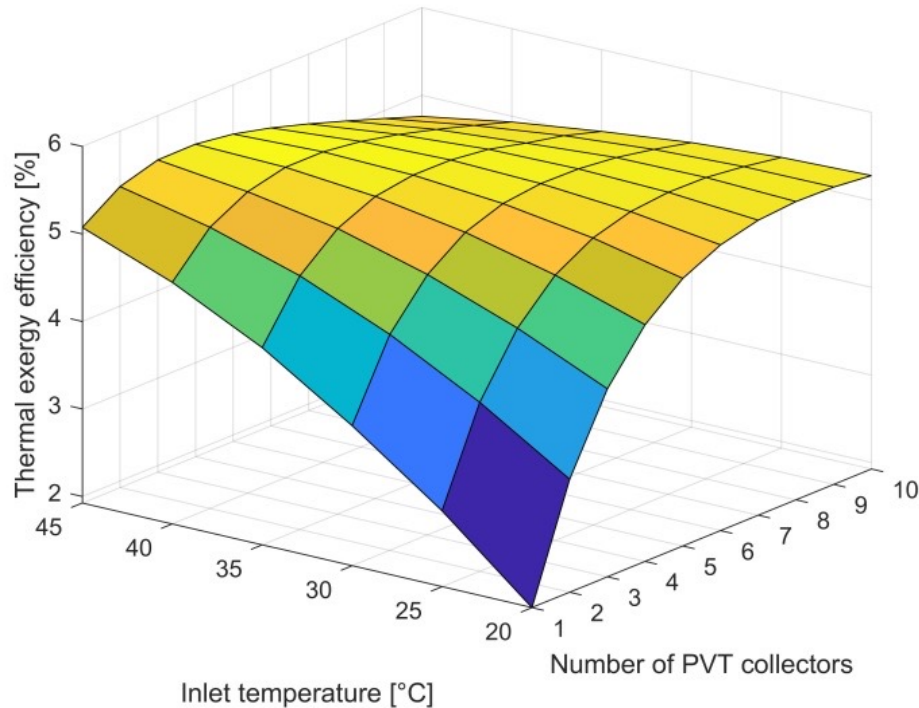
**Frontul optim Pareto în spațiul obiectiv al randamentelor exergetice electrice și termice
Mai multe soluții sunt marcate cu valorile variabilelor de proiectare**

Optimizare Exergetica multi-stage PVT



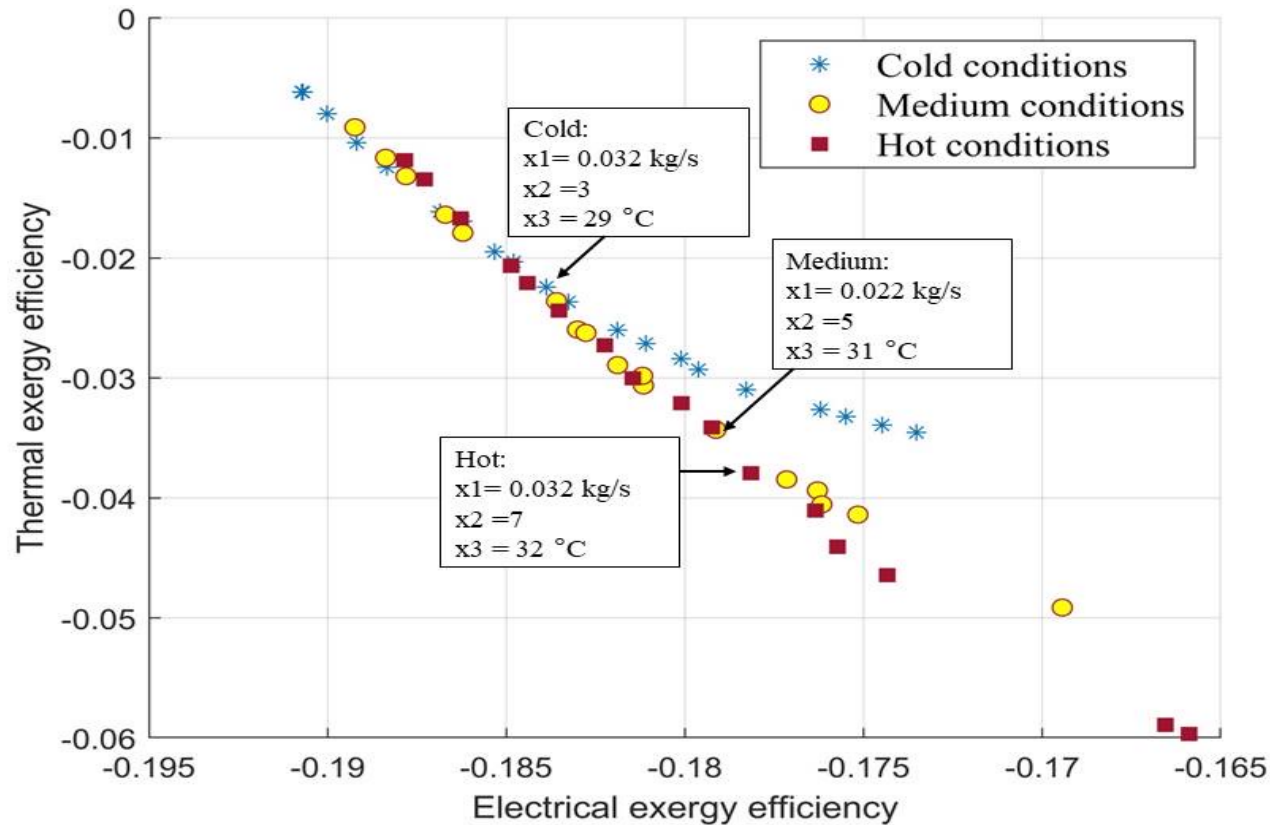
Principiul de funcționare al PVT în mai multe etape PVT

Optimizare Exergetica multi-stage PVT



Variația eficienței exergiei termice în funcție de temperatura de intrare a agentului de răcire și de numărul de PVT

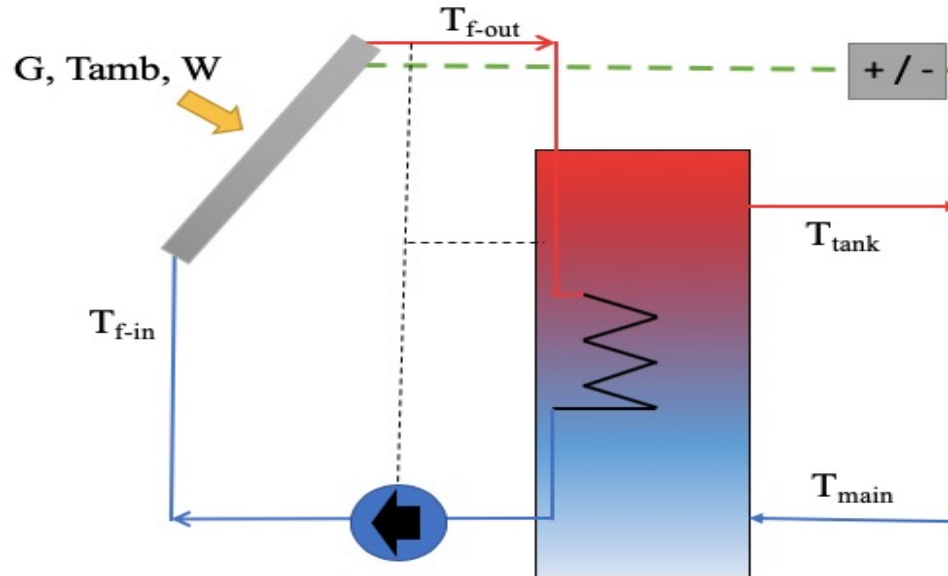
Optimizare Exergetica multi-stage PVT



Frontul optim Pareto pentru eficiența exergiei electrice și termice în 3 condiții meteorologice diferite

PVT Integrat cladire

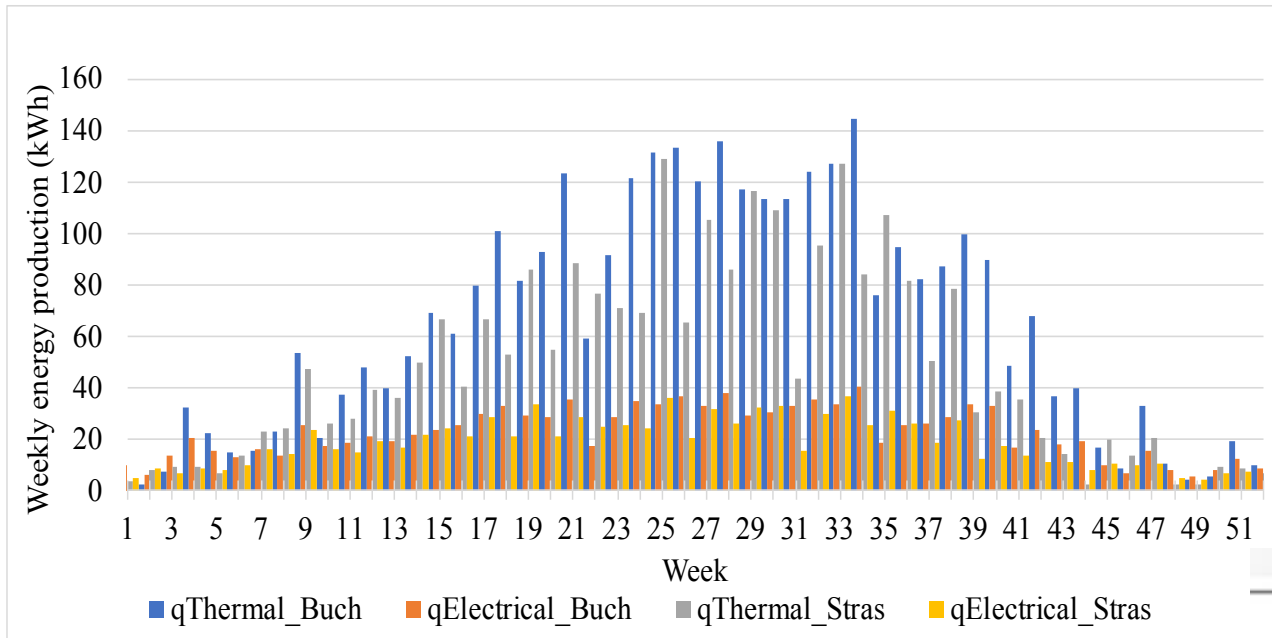
- PVT
- Reservoir de stocaj
- heat exchanger
- pompa
- connection to the household water main
- inverter/regulator with a battery bank



Parameter	Value	Unit
Collector Area	6	m ²
Thermal Efficiency	70	%
Electrical Efficiency	15	%
Type of fluid	Water + Glycol	-
Thermal loss coefficient	20	%
Slope	30	°
Temperature coefficient of PV cells	-0.5	%/°C
Packing Factor	80	%

PVT Integrat in cladire

Simulatie : rezultate 1 an



Productia energie 1 an

Energy	Total Annual Output	Percentage of total consumption
Thermal energy in Bucharest	3340,80 kWh _{TH}	55,68%
Thermal energy in Strasbourg	2491,96 kWh _{TH}	41,53%
Electrical energy in Bucharest	1173,24 kWh _{EL}	58,66%
Electrical energy in Strasbourg	962,52 kWh _{EL}	48,13%

Studiu Experimental

Descriptia instalatiei



3 tipuri echipamente:

- 2 panouri fotovoltaice (PV)
- 2 panouri solare (ST) panels
- 2 hybride PVT

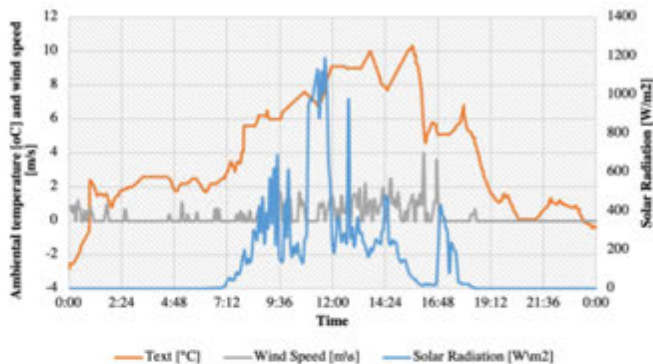
Dual Sun PVT collector

Module name	Dual Sun SPRING	NOCT (oC)	45 +-2
Cell type	PERC Mono-C	Volume of liquid (l)	5
Width (mm)	991	Max. operating pressure (bar)	1.5
Length (mm)	1650	Optical efficiency a0 (%)	58.2
Total area (m2)	3.76	Maximum temperature (oC)	75.6
Weight (kg)	25.1	Heat loss coefficient (W/K/m2)	10.8
Op. temperature (oC)	-40 to +85	Pressure loss (Pa) @ 100l/h	47
Electrical Efficiency (%)	18.3	Temperature coeff. (%)	-0.39

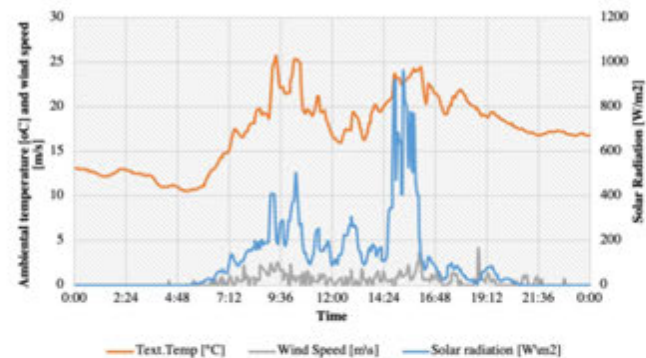
Studiu Experimental

Date colectate : Zile Representative

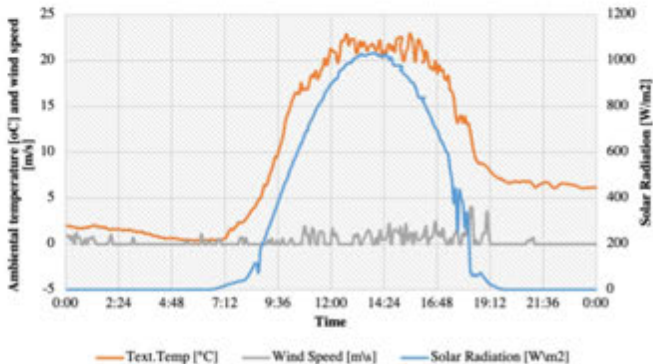
Day A - spring cloudy day



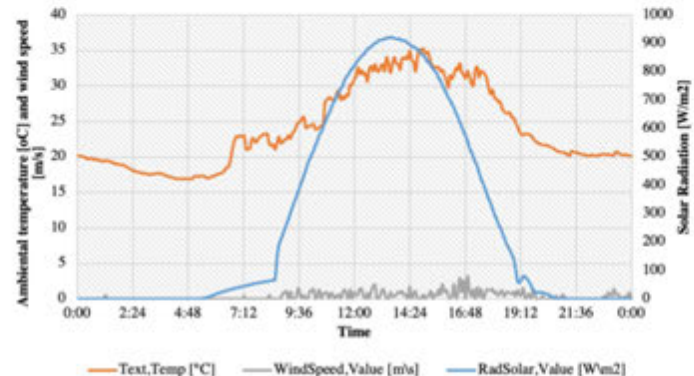
Day C - summer cloudy day



Day B - spring sunny day



Day D - summer sunny day

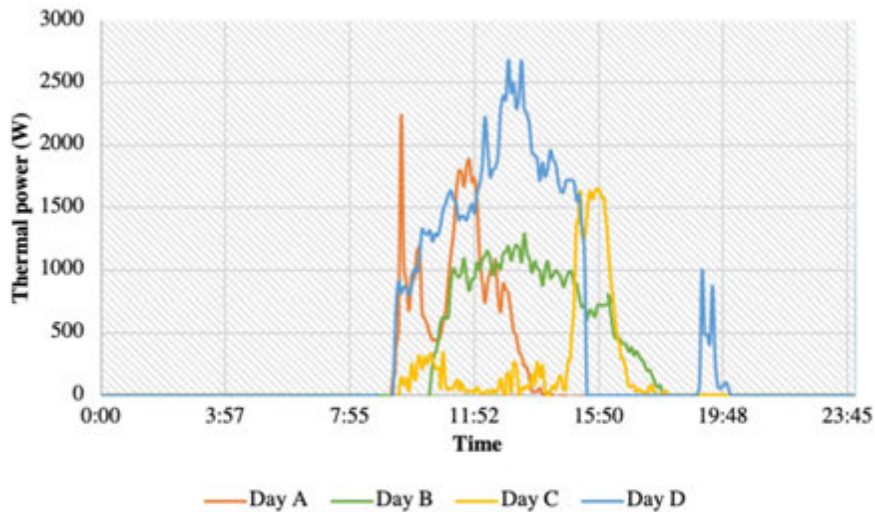


4 Zile reprezentative au fost alese pentru aceasta analiza

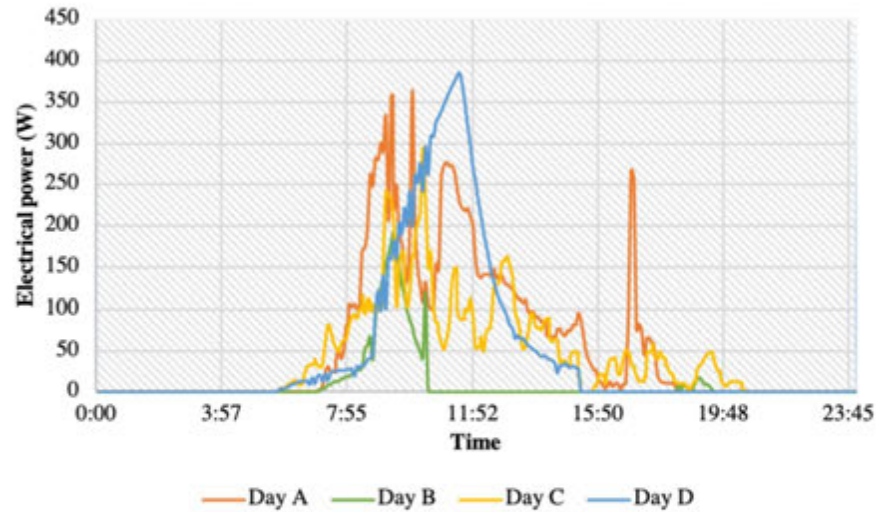
Aceste zile sint analizate dpdv meteorologic, evolutiei temperaturii, puterea produsa

Studiu Experimental

Putere termica si electrica



Instantaneous thermal power measured by the meter during the four days

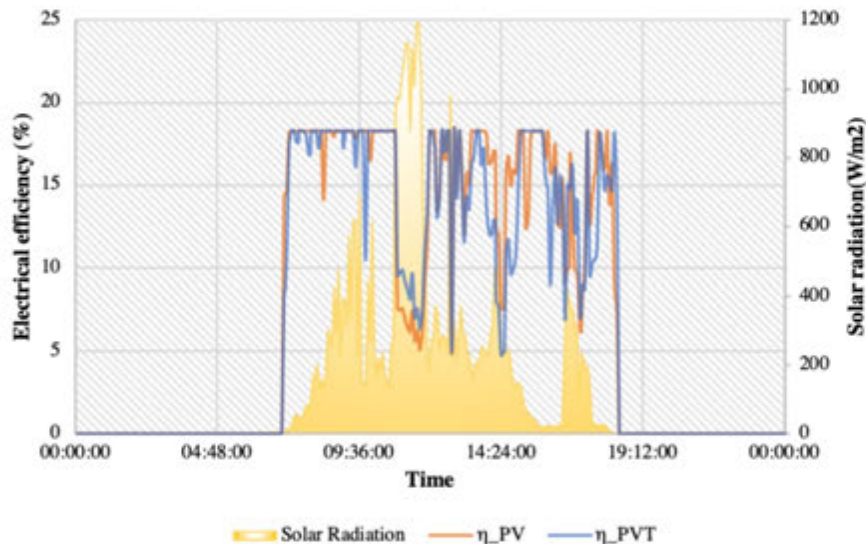


Instantaneous electrical power measured by the meter during the four days

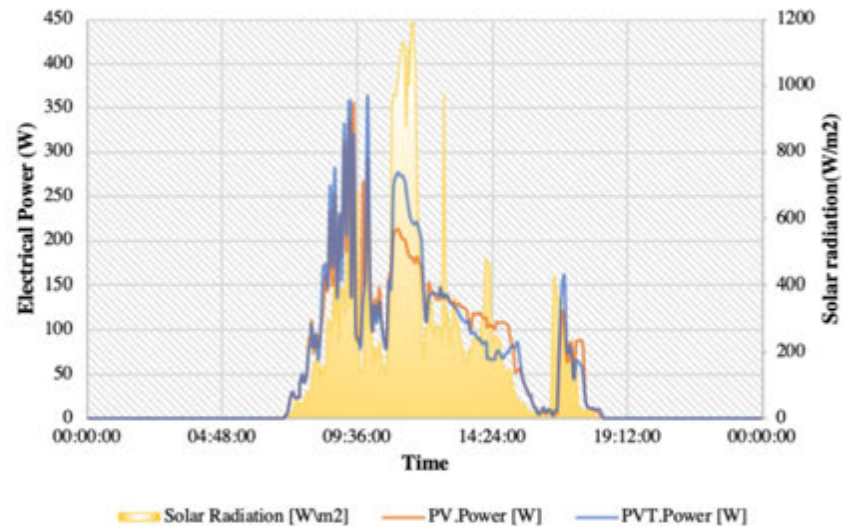
Puterea electrica importanta ziua D vara si ziua A primavara

Studiu Experimental

Comparatie PVT si PV



Electrical parameters during Day A - Measured efficiency



Electrical parameters during Day A - Electrical power

PVT are performante mai interesante dpdv ale puterii si eficacitatii

Concluzie

Am prezentat un studiu PVT si activitatile de cercetare in acest domeniu ICUBE UPB

- PVT avantaje : eficacitate importanta, produc caldura si electicitate, absenta zgomot.**
- Analiza energetica si exergetica sint prezentate aici.**
- Perspective : PVT + Stirling micro-CHP**

Perspective

Solutie 100% RE

ÖkoFEN Stirling micro-CHP

PVT

