

Modelarea functionarii unui sistem neconventional cu panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura care alimenteaza cladiri cu utilitati de incalzire si preparare a apei calde de consum

Modeling the operation of an unconventional system with photovoltaic solar panels and heat pump that supply buildings with heating and hot water utilities

Florin Iordache¹, Mugurel Talpiga²

^{1,2}Universitatea Tehnică de Construcții București
Bd. Lacul Tei nr. 122 - 124, cod 020396, Sector 2, București, România
E-mail: fliord@yahoo.com

Rezumat

In lucrare se prezinta modelarea functionarii unui sistem neconventional format din panouri solare fotovoltaice care alimenteaza cu energie electrica o pompa de caldura pentru furnizare de putere termica in instalatia de incalzire centrala a unei cladiri sau de prepararea a apei calde. Se prezinta atat relatiile corespunzatoare determinarii puterii electrice furnizate de suprafata de panouri solare fotovoltaice cat si relatiile de determinare dinamica a puterii termice livrate de pompa de caldura catre instalatiile consumatorului. In ultima parte a lucrarii se realizeaza o analiza energetica si economica privind impementarea acestori tipuri de sisteme neconventionale

Cuvinte cheie: Sistem hibrid, panou fotovoltaic, pompă de căldură.

Abstract

In this paper is it presented functional modelling of an unconventional system composed by photovoltaic panels which are producing electric energy to drive the compressor of a heat pump to produce thermal power for central heating unit of a building or to be used for daily hot water. Can be seen in the paper the corresponding equations to evaluate electrical power from solar cells and equations to establish the dynamic thermal power given by heat pump to final customer. At the end will be realized an energetic analyze and economic aspects to conclude the implementation of such unconventional systems.

Key words: hibryd system, photovoltaic cells, heat pump

1. Introducere

Cladirile nZEB despre care se discuta tot mai mult in ultimul timp se bazeaza in majoritatea cazurilor pe utilizarea surselor regenerabile, surse care sunt capabile sa disponibilizeze o mare cantitate de energie produsa de surse clasice bazate pe hidrocarburi. Sistemul analizat in cadrul lucrarii se bazeaza pe panouri solare fotovoltaice care produc energie electrica utilizata parial sau total de o pompa de caldura care deserveste sistemul de incalzire sau de preparare a apei calde de consum pentru o cladire. Energia termica absorbita de pompa de caldura cu compresie, este o energie preluata la vaporizatorul pompei de caldura din mediul exterior (aer, apa sau sol). In acest fel se poate spune ca energia furnizata consumatorului de pompa de caldura este in totalitate bazata pe surse regenerabile. In situatia in care puterea furnizata de sistemul sursa neconventional nu acopera necesarul de putere al consumatorului, deficitul de putere este acoperit de un sistem clasic de tip centrala termica functionand cu combustibil fosil. Avand in vedere cota importanta de energie bazata pe sursele regenerabile sistemul poate fi fezabil, insa randamentul destul de scazut la care lucreaza panourile fotovoltaice reduce din punct de vedere economic agreeerea implementarii unor astfel de sisteme.

2. Descrierea sistemului sursa neconventional. Modelarea functionarii componentelor sistemului.

Asa cum s-a mentionat si capitolul anterior sistemul sursa are doua componente de baza si anume suprafata de panouri solare fotovoltaice care produce putere electrica si pompa de caldura de caldura care utilizeaza aceasta putere electrica alaturi de o putere termica absorbita la vaporizatorul pompei de caldura pentru furnizarea de putere termica la condensatorul pompei de caldura catre sistemul de incalzire sau de preparare a apei calde al consumatorului.

In cazul primei componente a sistemului sursa neconventional, panourile solare fotovoltaice, relatia de baza se refera la randamentul de lucru al suprafetei de captare care se stabileste ca fiind:

$$\eta_{FV} = k_{pk} \cdot \eta_t \cdot \eta_{inv} \quad (1)$$

Primul dintre cei trei termeni ai produsului din membrul drept al relatiei (1) este fie factorul de putere la varf al panoului fotovoltaic fie eficienta panoului fotovoltaic care se calculeaza simplu pe baza puterii de catalog a panoului. In continuare se stabileste densitatea de putere electrica captata pe baza randamentului de lucru al panourilor solare fotovoltaice si a intensitatii radiatiei solare globale stabilite in prealabil:

$$p_{EL} = \eta_{FV} \cdot I \quad (2)$$

Intensitatea radiatiei solare se stabileste (vezi [1]) conform relatiei,:

$$I = f_{cap} \cdot I_O \quad (3)$$

Modelarea functionarii unui sistem neconventional cu panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura care alimenteaza cladiri cu utilitati de incalzire si preparare a apei calde de consum
 In functie de valoarea intensitatii radiatiei solare pe plan orizontal si de unghiul de inclinare si unghiul azimutal al panourilor solare fotovoltaice.

In cazul celei de a doua componente, pompa de caldura, un parametru de baza este coeficientul de performanta al acesteia care se stabileste (vezi [3]), conform relatiei:

$$COP_{CD} = \eta_{EL} \cdot f_{CD} \cdot \varepsilon_{CD}^C \quad (4)$$

Coeficientul de performanta al pompei de caldura, COP_{CD} , este variabil pe parcursul utilizarii acesteia, functie de temperatura sursei reci si temperatura mediului in care se livreaza puterea termica. Atat factorul de corectie f_{CD} cat si eficienta termica Carnot, ε_{CD} , depind de cele 2 temperaturi mentionate conform relatiilor:

$$f_{CD} = \frac{(\alpha_1 \cdot T_{CD} + \beta_1 + 1) \cdot f + (\alpha_2 \cdot T_{CD} + \beta_2 - 1)}{f + 1} \quad (5)$$

Unde: $\alpha_1 = 0.0108$ (1/K), $\beta_1 = -4.7121$ (-), $\alpha_2 = -0.0202$ (1/K), $\beta_2 = 9.3974$ (-), iar:

$$\varepsilon_{CD}^C = \frac{T_{CD}}{T_{CD} - T_{VP}} = \frac{f}{f - 1} \quad unde \quad f = \frac{T_{CD}}{T_{VP}} \quad (6)$$

Temperaturile absolute la vaporizatorul si condensatorul pompei de caldura se stabilesc in functie de temperaturile mediilor din care se extrage si catre care se livreaza flux termic, conform relatiilor:

$$\begin{aligned} T_{VP} &= t_{VP} + 273,15 = \theta_{VP} - \Delta t_{VP} + 273,15 \\ T_{CD} &= t_{CD} + 273,15 = \theta_{CD} + \Delta t_{CD} + 273,15 \end{aligned} \quad (7)$$

Se poate spune ca factorul de corectie f_{CD} reprezinta o prima corectie aplicata eficientei Carnot, ε_{CD}^C , in urma careia se obtine o eficienta efectiva a pompei de caldura pe care o putem nota cu ε_{CD}^* . Aceasta eficienta efectiva a pompei de caldura, ε_{CD}^* , urmeaza sa fie corectata in continuare cu randamentul isentropic, rezultand in final coeficientul de performanta al pompei de caldura, COP_{CD} . Astfel produsul $\eta_{EL} \cdot f_{CD}$ reprezinta corectia ce trebuie aplicata eficientei Carnot, ε_{CD}^C , pentru determinarea coeficientului de performanta al pompei de caldura, COP_{CD} . Cei 2 factori de corectie mentionati fiind subunitari rezulta ca intre cele 3 eficiente aferente pompei de caldura exista relatia:

$$COP_{CD} < \varepsilon_{CD}^* < \varepsilon_{CD}^C \quad (8)$$

Puterea termica furnizata de pompa de caldura se stabileste conform relatiei cunoscute:

$$\Phi_{CD} = COP_{CD} \cdot P_{EL} = \eta_{EL} \cdot f_{CD} \cdot \varepsilon_{CD}^C \cdot P_{EL} \quad (9)$$

Sau:

$$\Phi_{CD} = \eta_{EL} \cdot f_{CD} \cdot \varepsilon_{CD}^C \cdot P_{EL} = \eta_{EL} \cdot f_{CD} \cdot \varepsilon_{CD}^C \cdot p_{EL} \cdot S_C \quad (10)$$

Utilizand pentru p_{EL} relatia (2), relatia (10) devine:

$$\Phi_{CD} = \eta_{EL} \cdot f_{CD} \cdot \varepsilon_{CD}^C \cdot \eta_{FV} \cdot I \cdot S_C \quad (11)$$

Raportand fluxul termic furnizat de pompa de caldura conform relatiei (11) la suprafata panourilor solare fotovoltaice se obtine fluxul termic unitar afferent sistemului sursa conform:

$$\varphi_{CD} = \eta_{EL} \cdot f_{CD} \cdot \varepsilon_{CD}^C \cdot \eta_{FV} \cdot I \quad (12)$$

Cea de a 3-a componenta a sistemului in ansamblu este instalatia de incalzire sau de preparare a apei calde de consum. Daca ne referim la utilitatea privind incalzirea spatiilor consumatorului, atunci evaluarea puterii termice necesare medii lunare poate fi evaluata conform relatiei:

$$\Phi_{NEC_INC} = H_{INC} \cdot (t_{i0} - t_e) \quad (13)$$

Iar daca ne referim la utilitatea privind prepararea apei calde de consum, atunci relatia va fi:

$$\Phi_{NEC_ACC} = H_{ACC} \cdot (t_c - t_r) \quad (14)$$

Capacitatile de transfer termic aferente consumatorului pe cele doua tipuri de utilitatiti (incalzire – H_{inc} , preparare apa calda de consum – H_{acc}) au relatii specifice de calcul conform [1]. Astfel:

$$H_{INC} = \left(\frac{S}{R_m} + 0.34 \cdot n_a \cdot V \right) \quad (15)$$

$$H_{ACC} = 1.163 \cdot G_{ACC}$$

Temperatura exterioara medie lunara se stabileste conform standardului de numar anual de grade zile (vezi [2]).

In cadrul analizei energetice care va fi efectuata se va considera ca se porneste cu o suprafata de panouri solare fotovoltaice si cu pompa de caldura capabile sa acopere integral necesitatile consumatorului, adica in cazul incalzirii corespunzator unei temperaturi exterioare medii lunare minime. Astfel:

$$\Phi_{NEC\ max} = \phi_{CD} \cdot S_{C\ max} = \eta_{EL} \cdot f_{CD} \cdot \varepsilon_{CD}^C \cdot \eta_{FV} \cdot I \cdot S_{C\ max} \quad (16)$$

Rezulta:

$$S_{C\ max} = \frac{\Phi_{NEC\ max}}{\phi_{CD}} \quad (17)$$

Se poate stabili in continuare gradul de acoperire energetica lunar ca fiind:

$$G_{AE} = \Phi_{CD} / \Phi_{NEC} \quad (18)$$

Modelarea functionarii unui sistem neconventional cu panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura care alimenteaza cladiri cu utilitati de incalzire si preparare a apei calde de consum

In situatiile in care gradul de acoperire energetica va rezulta supraunitar se va considera ca $\Phi_{CD} = \Phi_{INC}$, ceea ce inseamna ca nu toata energia electrica produsa de suprafata de panouri solare fotovoltaice va fi utilizata de catre pompa de caldura. Mai concret, din energia electrica produsa de suprafata de captare solara va fi utilizata pentru pompa de caldura numai:

$$P_{EL} = \frac{\Phi_{CD}}{COP_{CD}} = \frac{\Phi_{NEC}}{COP_{CD}} \quad (19)$$

Restul de putere electrica calculabila cu relatia:

$$\Delta P_{EL} = \frac{\Phi_{CD} - \Phi_{NEC}}{COP_{CD}} \quad (20)$$

urmand a fi livrata in sistemul national.

Desigur ca in situatiile in care suprafata de captare solara va fi mai mica decat in varianta maxima vor fi situatii in care consumatorul va fi acoperit pe parte termica atat prin contributia pompei de caldura cat si prin contributia unei central termice clasice, functionand pe baza de combustibili fosili. De asemenea vor fi si situatii in care puterea electrica furnizata de suprafata de captare solara va fi excedentara necesitatilor pompei de caldura, iar excedentul va fi livrat in retea nationala.

Pe baza gradului de acoperire energetica lunar se stabileste gradul de acoperire energetica anual ca medie ponderata a gradelor de acoperire energetica lunare cu numarul de zile corespunzator lunilor.

La fel, pe baza puterilor termice medii lunare, livrate de condensatorul pompei de caldura si numarului de zile corespunzator fiecarei zile se stabileste energia anuala economisita, adica acoperita de catre sistemul sursa neconventional:

$$E_{AE} = 0,024 \cdot \sum N_Z \cdot \Phi_{CD} \quad (21)$$

Rezulta de aici, destul de simplu, si valoarea energiei economisite care permite estimarea unei durate de recuperare a costurilor de investitie facute in sistemul sursa neconventional, utilizand si un cost pentru kWh.

Suprafata panourilor solare fotovoltaice a fost un parametru care s-a modificat in cadrul studiului de la o valoare maxima la o valoare minima. Astfel valoarea maxima de suprafata de captare solara s-a calculat astfel incat sa se realizeze o acoperire energetica integrala pentru consumator atat pentru incalzire cat si pentru prepararea apei calde de consum. In continuare, suprafata de captare solara a fost diminuata progresiv la 90%, 80%,...,10% din valoarea maxima, atat pe partea de incalzire cat si pe parte de apa calda de consum. Pentru fiecare varianta de suprafata de captare solara astfel stabilita, atat la incalzire cat si la apa calda s-a facut evaluarea acoperirii energetice a necesarurilor consumatorului si s-a stabilit gradul de acoperire energetica anual si economia de energie realizata anual.

Mai concret spus, suprafata panourilor solare fotovoltaice de valoare maxima a rezultat astfel incat sa fie acoperit integral necesarul consumatorului in luna cea mai rece a anului atat pentru incalzire cat si pentru apa calda de consum. Valoarea suprafetei panourilor solare fotovoltaice rezulta in functie de puterea electrica necesara pentru realizarea puterii termice la condensatorul pompei de caldura care la randul ei trebuie sa acopere puterea necesara la consumator. De aici rezulta o corelatie directa intre valoarea suprafetei panourilor solare fotovoltaice si capacitatea pompei de caldura. Asta inseamna ca atunci cand se va considera un sistem sursa avand o suprafata a panourilor solare fotovoltaice mai scazute decat valoarea maxima stabilita si capacitatea pompei de caldura implicate va fi mai scazute. Capacitatea pompei de caldura va fi astfel incat sa poata utiliza in totalitate puterea electrica maxima furnizata de suprafata de captare solara. In ipoteza in care suprafata panourilor solare fotovoltaice are o valoare intermediara mai scazuta decat valoare maxima si capacitatea pompei de caldura va avea o valoare intermediara ceea ce conduce in analiza energetica la identificarea a 2 etape de lucru si anume: etapa compusa din lunile in care pompa de caldura are posibilitatea de a acoperi in totalitate puterea necesara a consumatorului si etapa in care pompa de caldura nu acopera in totalitate necesarul consumatorului. In prima etapa mentionata puterea termica livrata de pompa de caldura la condensator se considera egala cu necesarul termic al consumatorului si rezulta in consecinta puterea electrica absorbita de pompa de caldura, putere care va fi mai mica decat puterea electrica produsa de catre suprafata de captare a panourilor solare fotovoltaice. Surplusul de putere electrica va fi livrat in reseaua nationala. In a doua etapa puterea termica produsa de catre pompa de caldura va fi mai scazut decat necesarul de putere termica al consumatorului si in consecinta se va face o suplimentare de putere termica cu o centrala termica functionand cu combustibili fosili, centrala care lucreaza si ea cu un randament de cca. 90%. In acest fel se va realiza analiza energetica pe intreaga perioada de functionare a sistemului format din suprafata de captare cu panouri fotovoltaice, pompa de caldura si consumator. In cazul unei luni din prima etapa in care necesarul de putere termica al consumatorului este acoperit integral de catre puterea termica livrata de pompa de caldura, se stabileste pe baza temperaturii exterioare medii lunare, t_e , temperatura medie a agentului termic din instalatia de incalzire centrala, t_M , conform relatiei:

$$t_M = \frac{t_{M0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_{i0} - \frac{t_{M0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_e \quad (22)$$

unde:

$$t_{M0} = \frac{t_{T0} + t_{R0}}{2}; \quad t_M = \frac{t_T + t_R}{2} \quad (23)$$

care reprezinta temperatura θ_{CD} din relatiile (7). In cazul prepararii apei calde de consum temperatura θ_{CD} este media aritmetica dintre temperatura apei calde si temperatura apei reci.

Modelarea functionarii unui sistem neconventional cu panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura care alimenteaza cladiri cu utilitati de incalzire si preparare a apei calde de consum

In continuare cunoscand puterea termica livrata la condensatorul pompei de caldura si coeficientul de performanta al pompei de caldura, COP_{CD} , se determina puterea electrica necesara utilizand relatia (9). Pe de alta parte se poate determina puterea electrica produsa de suprafata de panouri solare fotovoltaice ca produs intre puterea electrica unitara produsa in luna analizata (calculabila conform relatiei (2) si suprafata de captare stabilita. Diferenta dintre cele 2 valori de putere electrica reprezinta valoarea care se transmite in sistemul national.

In etapa a 2-a se stabileste puterea termica cedata de pompa de caldura conform relatiei (9) in care cei doi termeni ai produsului se determina asa cum a fost descris mai inainte, rezultand o valoare mai mica decat necesarul de putere termica al consumatorului care se stabileste conform relatiilor (13) sau (14). Diferenta dintre puterea termica necesara la consumator si puterea termica cedata de catre pompa de caldura va fi furnizata de catre o centrala termica cu combustibil fosil care lucreaza cu un randament de 90%.

3. Analiza energetica privind functionarea sistemului neconventional. Aspecte economice.

Analiza energetica s-a efectuat pentru un studiu de caz in care s-a considerat un ansamblu de cladiri colective insumand 80 de apartamente cu un numar de 2,5 persoane pe apartament. Asta a condus la capacitatile de transfer de caldura: la incalzire: $H_{inc} = 16000 \text{ W/K}$, si la apa calda - $H_{acc} = 698 \text{ W/K}$.

Asa cum s-a mai precizat valoarea maxima de suprafata de captare solara s-a calculat astfel incat sa se realizeze o acoperire energetica integrala pentru consumator atat pentru incalzire cat si pentru prepararea apei calde de consum. In continuare, suprafata de captare solara a fost diminuata progresiv la 90%, 80%,...,10% din valoarea maxima, atat pe partea de incalzire cat si pe parte de apa calda de consum. Pentru fiecare varianta de suprafata de captare solara astfel stabilita, atat la incalzire cat si la apa calda s-a facut evaluarea acoperirii energetice a necesarurilor consumatorului si s-a stabilit gradul de acoperire energetica anual si economia de energie realizata anual.

S-a gasit interesanta o reprezentare grafica a gradului de acoperire energetica functie de cota de suprafata de captare solara din suprafata de captare solara maxima asa cum a fost definita mai inainte.

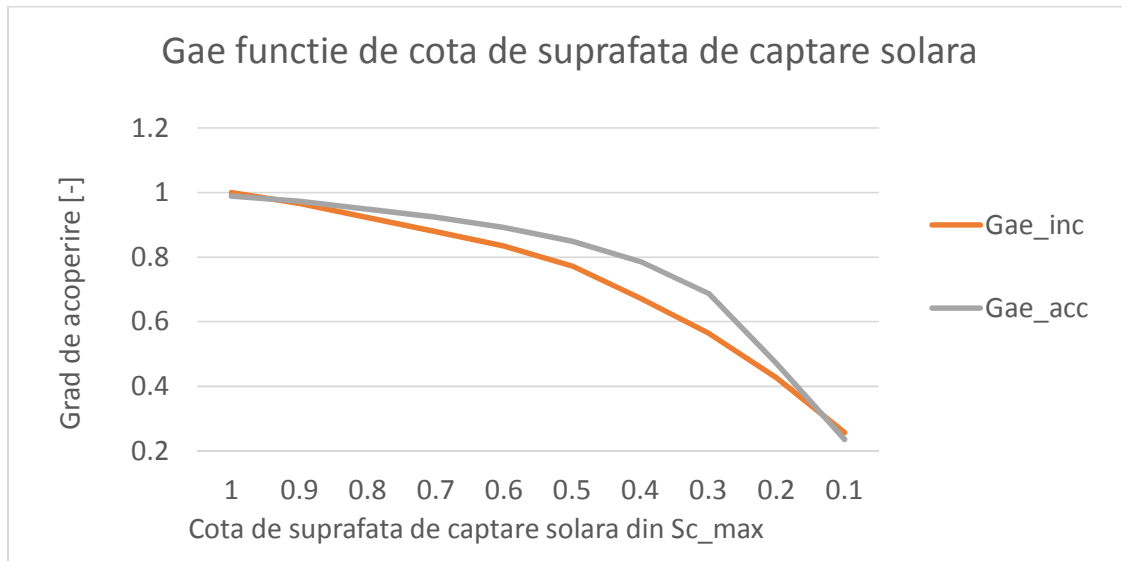


Fig.1 – Gradul de acoperire energetica functie de cota din Sc_max

Trebuie sa mentionam faptul ca in cazul utilitatii de incalzire a consumatorului analiza intreprinsa a presupus numai 6 luni in perioada sezonului rece al anului, in timp ce in cazul utilitatii de preparare a apei calde de consum analiza a presupus toate cele 12 luni ale anului.

O alta corelatie interesanta rezultata a fost intre gradul de acoperire energetica si raportul dintre capacitatea de transfer termic a consumatorului pe parte de incalzire si de apa calda de consum si suprafata de captare solara a panourilor fotovoltaice.

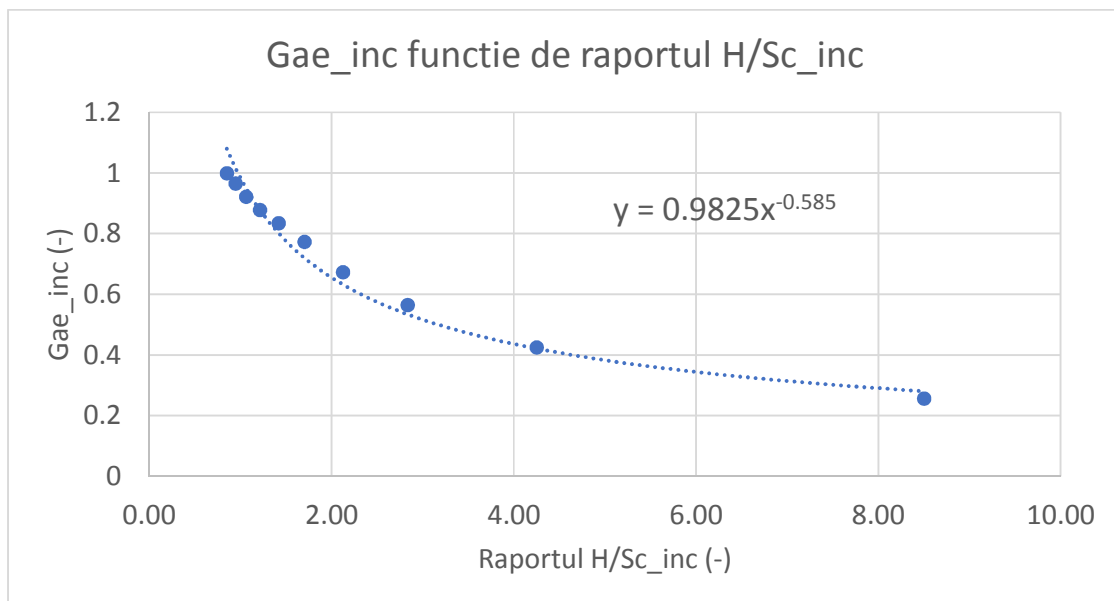


Fig. 2 – Gradul de acop. energetica, functie de raportul - H/Sc_inc

Modelarea functionarii unui sistem neconventional cu panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura care alimenteaza cladiri cu utilitati de incalzire si preparare a apei calde de consum

Cresterea raportului H/Sc_{inc} (adica capacitatea de transfer termic a consumatorului care revine la m^2 de suprafata de captare), inseamna de fapt scaderea suprafetei de captare solara conform procedurii prezentate pana la 10% din valoarea maxima cand inca mai poate asigura cca. 25% ca acoperire energetica. Un calcul simplu conduce la cca. $23 m^2$ de suprafata de captare solara pe apartament in timp ce pentru o acoperire energetica de 100% suprafata de captare solara trebuie sa fie de cca. $235 m^2/ap$, ceea ce inseamna o valoare foarte foarte mare. Trebuie insa sa nu se neglijeze faptul ca in prezentarea facuta pana in prezent nu s-a tinut seama de puterea electrica excedentara furnizata de suprafata de panouri solare fotovoltaice, in lunile in care necesarul de putere termica aferent consumatorului este mai redus decat cel din luna cea mai rece a anului.

In cazul utilitatii de apa calda de consum situatia se prezinta cu totul altfel dat fiind puterea necesara la consumator, care este sensibil mai scazuta. Astfel in situatia in care suprafata de captare solara scade la 10% din valoarea maxima. Cand inca se poate asigura ca acoperire energetica cca. 22% din necesarul consumatorului, rezulta cca. $1,14 m^2/ap$, in timp ce la acoperire energetica integral rezulta cca. $13 m^2/ap$. Nici in situatia apei calde de consum nu trebuie insa sa se neglijeze faptul ca in prezentarea facuta pana in prezent nu s-a tinut seama de puterea electrica excedentara furnizata de suprafata de panouri solare fotovoltaice, in lunile in care necesarul de putere termica aferent consumatorului este mai redus decat cel din luna cea mai rece a anului.

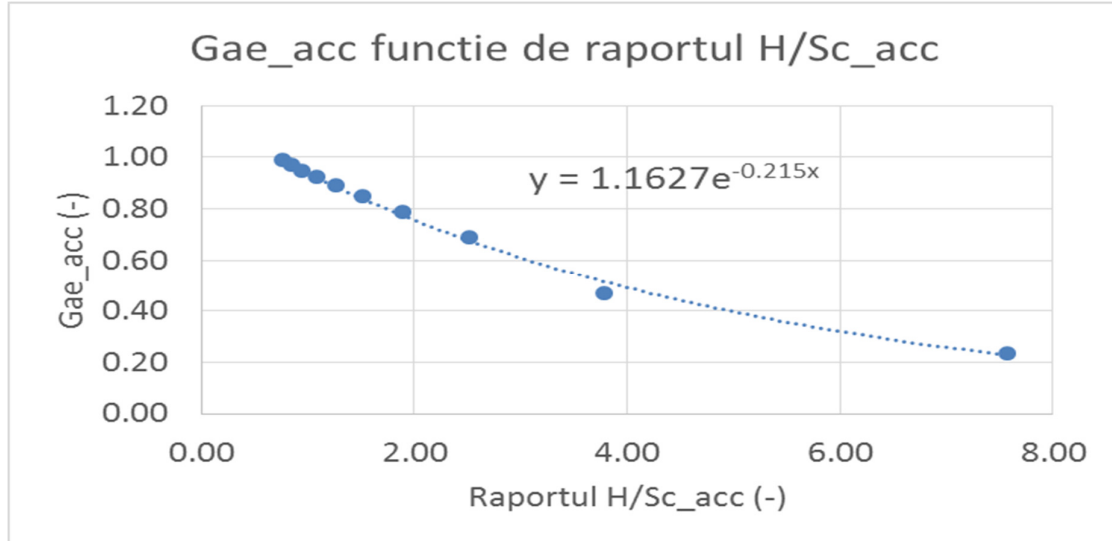


Fig. 3 - Gradul de acop. energetica, functie de raportul - H/Sc_{acc}

Ca in orice investitie realizarea efectiva poate deveni implementabila daca acest lucru este validat de un studiu de fezabilitate. Astfel in lucrarea de fata s-a incercat o analiza a duretei de recuperare a investitiilor facute in sistemul sursa format din suprafata de panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura. O analiza documentara

efectuata asupra costurilor componentelor sistemului sursa neconventionala a condus la o valoare de 1000 EUR/kW instalat pentru panourile fotovoltaice si 225 EUR/kW instalat pentru pompe de caldura cu compresie mecanica. In ceea ce priveste costul specific al energiei s-a considerat 0.14 EUR/kWh. In aceste conditii au rezultat corelatii intre costurile investitiei si marimea suprafetei de panori solare instalate. Reamintim faptul ca suprafata de panouri solare fotovoltaice impune si marimea pompei de caldura, astfel incat aceasta sa fie capabila sa utilizeze intreaga putere electrica produsa de suprafata de captare solara.

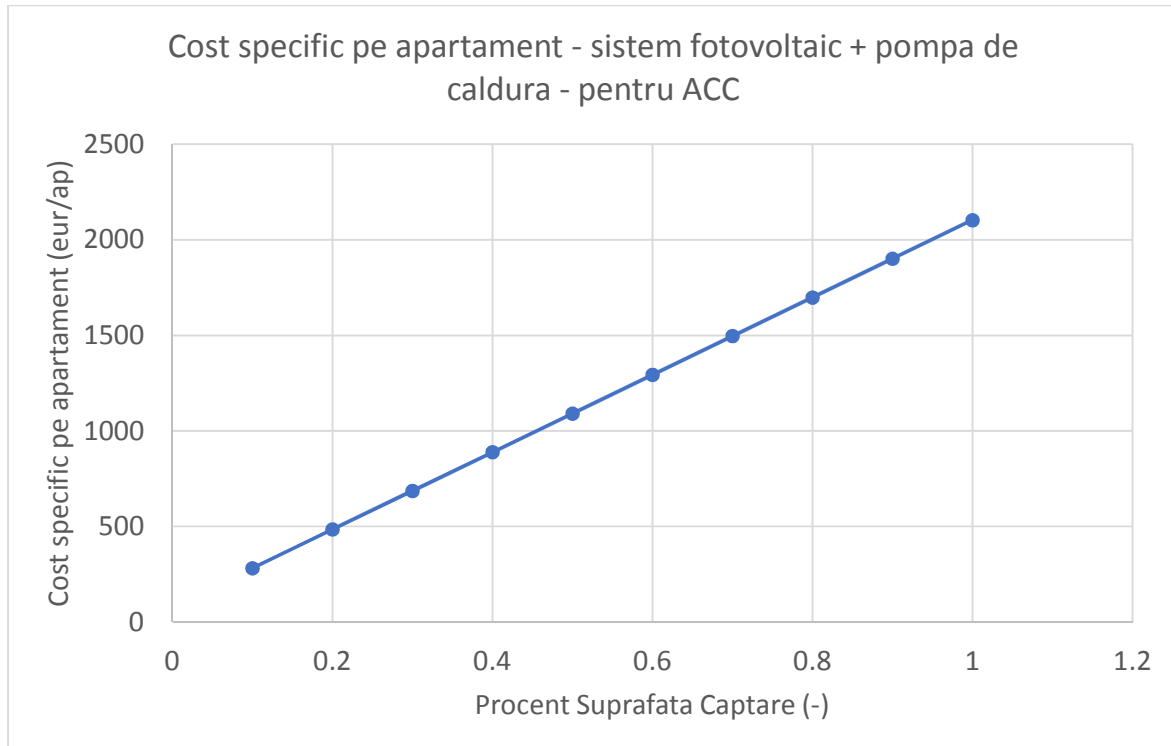


Fig. 4 – Costul specific pe apartament functie de cota de suprafata de panouri fotovoltaice implementata in cazul utilitatii de preparare a apei calde de consum

Din fig. 4 se remarca faptul ca acoperirea integrala a necesarului de putere termica pentru prepararea apei calde de consum pe baza sistemului neconventional conduce la un cost specific pe apartament de cca. 2100 EUR/ap valoarea scazand pana la cca .280 EUR/ap. in cazul in care suprafata de captare devine 10% din valoarea maxima, ceea ce insemna cca. 25% acoperire energetica. In cazul utilitatii de incalzire a spatiilor costurile de investitie specifice pe apartament sunt sensibil mai ridicate ceea ce diminueaza actualmente sansele de realizare a unor astfel de sisteme pentru incalzirea spatiilor

Problema importanta este insa durata de recuperare a investitiei pe baza diminuarii costurilor de exploatare datorita utilizarii surselor regenerabile.

Modelarea functionarii unui sistem neconventional cu panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura care alimenteaza cladiri cu utilitati de incalzire si preparare a apei calde de consum

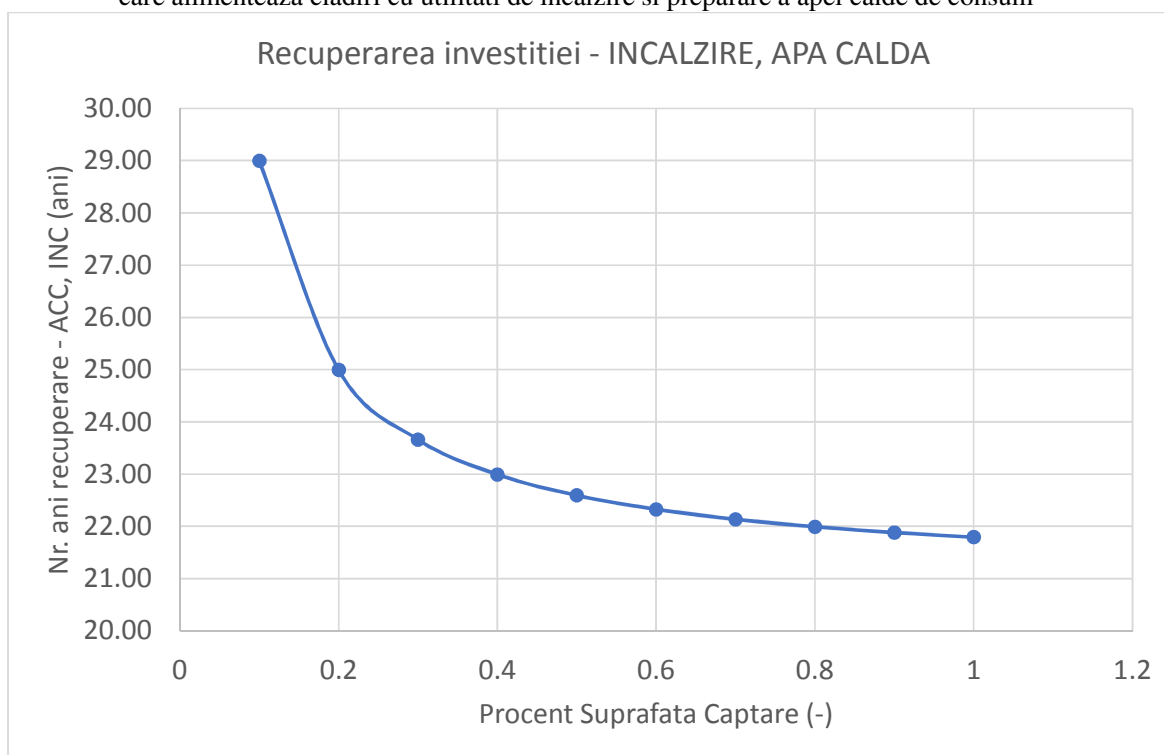


Fig. 5 – Durata de recuperare a investitiei functie de cota de suprafata de panouri solare fotovoltaice pentru utilitati de preparare a apei calde de consum sau incalzirea spatiilor

Din fig. 5 se observa ca durata de recuperare a investitiei in astfel de sisteme se recupereaza destul de greu, durata fiind de cca 22-25 de ani atat pentru utilitatea de prepararea a apei calde de consum cat si pentru utilitatea de incalzire a spatiilor (cand insa investitiile sunt insa sensibil mai mari). Se observa ca durata de recuperare mai mare rezulta in cazul diminuarii suprafetei de panouri fotovoltaice.

Durata relativ mare de recuperare a investitiei aferente acestui tip de sistem neconventional de utilizare a surselor regenerabile face necesara subventionarea de catre stat in vederea cresterii increderii in aceste tipuri de sisteme neconventionale. Actualmente utilizarea captatoarelor solare termice pentru prepararea apei calde de consum si incalzirea spatiilor sta la baza tot a unor sisteme neconventionale insa sensibil mai rapid recuperabile ca investitie, ceea ce dupa cum este cunoscut, sa fie des intalnite in tot felul de aplicatii practice pentru alimentarea cu energie a cladirilor.

4. Concluzii

Conform analizei energetice, gradul de acoperire energetica pe care sistemul neconventional format din panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura il ofera consumatorului poate fi de 100% si poate fi diminuat pana la ca 25% daca suprafata de captare solara scade la 10% din valoarea maxima corespunzatoare acoperirii integrale.

În lucrare se prezintă corelațiile între gradul de acoperire energetică și raportul dintre capacitatea de transfer termic aferentă consumatorului pe parte de încălzire a spațiilor și pe parte de prepararea de apă caldă și suprafața de captare a panourilor fotovoltaice. Se remarcă faptul că acoperirea integrală a necesarului de putere termică pentru prepararea apei calde de consum pe baza sistemului neconvențional conduce la un cost specific pe apartament de cca. 2100 EUR/ap, caz în care acoperirea energetică este integrală, valoarea scăzând până la cca. 280 EUR/ap. caz în care acoperirea energetică este de cca. 25%. În cazul utilității de încălzire a spațiilor, valorile sunt sensibil mai mari.

Recuperarea investiției variază între 22 și 23 ani în majoritatea cazurilor fapt care face ca sistemul neconvențional format din panouri solare fotovoltaice și pompa de căldură pentru alimentarea cu energie termică a unor consumatori de tipul clădirilor rezidențiale sau nerezidențiale să reprezinte deocamdată soluții scumpe care pentru a fi implementate necesită subvenția din partea statului.

Lista de Notatii

t_{i0} – temperatura interioară normată, °C;
 t_{e0} – temperatura exterioară de calcul, °C;
 t_e – temperatura exterioară medie lunară, °C;
 t_c – temperatura de livrare a apei calde de consum, °C;
 t_r – temperatura apei reci de consum, °C;
 t_{T0} – temperatura de calcul a agentului termic la intrarea în instalația de încălzire, °C;
 t_{R0} – temperatura de calcul a agentului termic la ieșirea în instalația de încălzire, °C;
 t_{M0} – temperatură medie de calcul a agentului termic în instalația de încălzire, °C;
 t_T – temperatura agentului termic la intrarea în instalația de încălzire, °C;
 t_R – temperatura agentului termic la ieșirea în instalația de încălzire, °C;
 t_M – temperatură medie a agentului termic în instalația de încălzire, °C;
 T_{CD} – temperatura absolută de condensare a agentului termic, K;
 T_{VP} – temperatura absolută de vaporizare a agentului termic, K;
 t_{CD} – temperatura de condensare a agentului termic, °C;
 t_{VP} – temperatura de vaporizare a agentului termic, °C;
 θ_{CD} – temperatura mediului unde se livrează putere termică, °C;
 θ_{VP} – temperatura mediului de unde se absoarbe putere termică, °C;
 Δt_{CD} – diferența medie logaritmică de temperatură la condensator, °C;
 Δt_{VP} – diferența medie logaritmică de temperatură la vaporizator, °C;
 Φ_{NEC} – putere termică necesară la consumator, W;
 Φ_{NEC_INC} – putere termică necesară la consumator pentru încălzire, W;
 Φ_{NEC_ACC} – putere termică necesară la consumator pentru preparare apă caldă, W;
 H_{INC} – capacitatea de transfer termic a consumatorului pentru încălzire, W/K;
 H_{ACC} – capacitatea de transfer termic a consumatorului pentru preparare apă caldă de consum, W/K;

Modelarea functionarii unui sistem neconventional cu panouri solare fotovoltaice si pompa de caldura care alimenteaza cladiri cu utilitati de incalzire si preparare a apei calde de consum

G_{ACC} – debitul orar de apa calda de consum, mediu zilnic, l/h;

S – suprafata totala a anvelopei cladiri, m^2 ;

R_m – rezistenta medie a anvelopei cladirii, $m^2.K/W$;

V – volumul spatiului incalzit, m^3 ;

n_a – numarul orar de schimburi de aer aferent spatiului incalzit, 1/h;

I – intensitatea globala a radiatiei solare pentru locatia consumatorului si unghiul de inclinare si de azimut al panourilor solare fotovoltaice, W/m^2 ;

I_O – intensitatea globala a radiatiei solare pe plan orizontal pentru locatia consumatorului al panourilor solare fotovoltaice, W/m^2 ;

p_{EL} – densitatea de putere electrica absorbita de pompa de caldura, W/m^2 ;

ϕ_{CD} – densitatea de putere termica livrata la pompa de caldura, W/m^2 ;

P_{EL} – Puterea electrica absorbita de pompa de caldura, W ;

Φ_{CD} – putere termica livrata efectiv de catre pompa de caldura, W ;

Φ_{NEC_max} – putere termica necesara la consumator pentru dimensionarea sistemului sursa neconventional, W ;

E_{AE} – energia anuala acoperita energetic de catre sistemul sursa neconventional, kWh;

S_C – suprafata panourilor solare fotovoltaice, m^2 ;

N_Z – numarul de zile lunar, zile/luna;

η_{EL} – randamentul izentropic, -;

η_{FV} – randamentul panourilor solare fotovoltaice, -;

k_{pk} – factorul de putere de varf al panourilor solare fotovoltaice, -;

η_t – randamentul termic al panourilor solare fotovoltaice, -;

η_{inv} – randamentul invertorului, -;

ε_{CD}^C – eficienta Carnot la condensatorul pompei de caldura, -;

ε_{CD}^* – eficienta efectiva la condensatorul pompei de caldura, -;

COP_{CD} – coeficientul de performanta al pompei de caldura, -;

f_{CD} – factor de corectie aplicat randamentului Carnot la condensatorul pompei de caldura;

G_{AE} – grad de acoperire energetica al consumatorului, -;

1.163 – caldura specifica volumica a apei, $W.h/l.K$;

Bibliografie

[1] – Mc001/2019 - Metodologia de evaluare a performantelor energetice ale cladirilor;

[2] – SR 4839/2014 – Numarul anual de grade zile;

[3] - Florin Iordache, Alexandru Draghici, Mugurel Talpiga - Comportamentul termic dinamic al unei pompe de caldura functionand intre 2 rezervoare de acumulare – Revista Romana de Inginerie Civila – ed Matrixrom, Bucuresti, 2019, (in curs de aparitie);