

**Ing. Constantin Adrian ILIE**

**Sisteme hibride bazate pe surse regenerabile pentru asigurarea necesarului de energie termică în comunități mici**

**Hybrid systems based on renewable energy sources to provide thermal energy in small communities**

**REZUMAT / ABSTRACT**

**Conducător științific**

**Prof.dr.ing. Ion VIȘA**

**BRAȘOV, 2019**

D-lui (D-nei) .....

## COMPONENȚA

### Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. .... din .....

PREȘEDINTE:	Prof.dr.ing. Jaliu Codruța Decan, Facultatea de Design de Produs și Mediu, Universitatea Transilvania din Braşov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing. Vișa Ion Universitatea Transilvania din Braşov
REFERENȚI:	Prof.dr.ing. Iordache Florin Universitatea Tehnică de Construcții București Prof.dr.ing. Bălan Mugur Ciprian Universitatea Tehnică Cluj-Napoca Conf.dr.ing. Moldovan Macedon Dumitru Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: 20.09.2019, ora 11:00,  
sala: Căsuța Solară, Corp E, Colina Universității.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise  
electronic, în timp util, pe adresa: [adrian.ilie@unitbv.ro](mailto:adrian.ilie@unitbv.ro)

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de  
doctorat.

Vă mulțumim.



## CUVÂNT ÎNAINTE

Implementarea în comunități a mixurilor energetice bazate pe surse de energie regenerabilă asigură necesarul de energie termică pe întreaga perioadă a anului și contribuie esențial la transformarea comunităților actuale în comunități durabile.

Pentru comunitățile care dispun de resursa biomasă lemnoasă, sistemele hibride de tip solar-biomasă reprezintă o soluție fezabilă de asigurare a energiei termice în comunitate pentru cele două funcționalități principale: apă caldă menajeră și încălzire.

Conceperea sistemului solar-biomasă pentru utilizarea în totalitate a energiei termice obținută prin conversia solar-termică și utilizarea biomasei pentru completarea necesarului de energie termică în comunitate asigură funcționalitatea optimă a sistemului prin utilizarea numai a energiei solare pe perioada caldă și utilizarea biomasei numai atunci când energia solară nu asigură necesarul de energie termică în comunitate.

Lucrarea *“Sisteme hibride bazate pe surse regenerabile pentru asigurarea necesarului de energie termică în comunități mici”* se înscrie în acest context, având ca obiectiv general dezvoltarea unei metodologii de concepere și proiectare a sistemelor hibride de asigurare a energiei termice într-o comunitate de locuințe colective prin conversia energiei solare și arderea biomasei lemnoase.

Principalele direcții de cercetare dezvoltate în cadrul tezei de doctorat sunt: calculul necesarului de energie termică la nivelul comunității în mediul construit, evaluarea potențialului resursei pentru producerea de energie termică în comunitate, conceperea, dezvoltarea și optimizarea sistemului hibrid pentru comunitatea formată din locuințe colective precum și validarea metodologiei pe un studiu de caz privind o comunitate de locuințe colective.

Rezultatele, concluziile și validarea metodologiei pe un studiu de caz (Cartierul Taberei din Municipiul Odorheiu Secuiesc) recomandă aplicarea metodologiei propuse pentru diverse comunități în producerea energiei termice pentru apă caldă menajeră și încălzire pe întreaga perioadă a anului.

*Cu prilejul finalizării tezei de doctorat, doresc să exprim mulțumirile, respectul și recunoștința adresate conducătorului științific al acestei lucrări, domnului Profesor univ. Dr. Ing. Ion Vișa, pentru îndrumarea competentă, profesionalismul și ajutorul acordat pe întreg parcursul derulării programului de doctorat.*

*De asemenea, doresc să exprim mulțumiri față de:*

- Doamna Prof. Univ. Dr. Ing. Anca Duță pentru sprijinul profesional, moral și ajutorul acordat cu competență și bunăvoință;



- *Comisia de îndrumare formată din doamna Prof. Univ. Dr. Ing. Anca Duţă, doamna Prof. Univ. Dr. Ing. Codruţa Jaliu şi domnul Prof. Univ. Dr. Ing. Mircea Neagoie, pentru îndrumarea competentă, răbdare şi perseverenţă;*
- *Colectivul Departamentului Design de Produs, Mecatronică şi Mediu pentru ajutorul moral şi profesional acordat pe parcursul programului de doctorat;*
- *Colectivul de colegi din cadrul AG SERV CONSTRUCT SRL, pentru înţelegere şi sprijin moral acordat pe durata realizării tezei.*

*Sincere mulţumiri soţiei, copiilor, părinţilor şi fraţilor care mi-au fost alături cu înţelegere, compasiune şi răbdare pe toată durata desfăşurării programului de doctorat.*

*Dedic această lucrare copiilor mei, Toma şi Pavel.*

## CUPRINS

	Teză	Rezumat
Listă de abrevieri	1	-
Introducere	5	1
<b>Capitolul 1: Sisteme de producere a energiei termice pentru comunități</b>	<b>8</b>	<b>3</b>
1.1. Modalitatea asigurării energiei termice în comunități. Încălzirea districtuală	8	3
1.1.1. Sisteme clasice de producere a energiei în comunități	8	3
1.1.2. Sisteme bazate pe surse de energii regenerabile pentru producerea de energie în comunități	12	5
1.2. Stadiul actual privind dezvoltarea sistemelor hibride bazate pe energia solară și biomasă pentru producerea energiei termice la nivel de comunitate	14	6
1.2.1. Modele de sisteme hibride (solar și biomasă)	17	6
1.2.2. Structura sistemelor hibride (solar și biomasă)	26	11
1.2.3. Avantajele și dezavantajele sistemelor hibride (solar și biomasă)	27	11
1.3. Concluzii și contribuții	29	13
1.4. Necesitatea instalării sistemelor hibrid	30	14
1.5. Obiectivele tezei	31	15
<b>Capitolul 2: Necesarul de energie termică la nivel de comunitate</b>	<b>32</b>	<b>16</b>
2.1. Definirea comunității	33	16
2.2. Caracterizarea mediului construit	33	17
2.3. Eficiența energetică, performanța energetică a clădirilor	36	17
2.4. Caracteristici ale clădirii pentru necesarul de energie termică	42	18
2.5. Metode de stabilire a necesarului de energie termică la nivel de comunitate	44	20
2.5.1. Metoda analitică	44	20
2.5.2. Metoda consumului real	51	24
2.5.3. Compararea metodelor prin studiu de caz	55	25
2.6. Concluzii și contribuții	60	27
<b>Capitolul 3: Evaluarea potențialului energetic al unei comunități</b>	<b>62</b>	<b>29</b>
3.1. Surse de energii regenerabile pentru producerea de energie termică	62	29

3.2.	Potențialului energetic solar disponibil	62	29
3.2.1.	Evaluarea potențialului disponibil prin simulare	64	30
3.2.2.	Evaluarea potențialului disponibil cu programe specializate	68	34
3.2.3.	Metoda de calcul a energiei solare utilizând date de la stații meteo locale	72	35
3.2.4.	Compararea metodelor	75	35
3.2.5.	Sisteme aplicabile comunităților pentru conversia energiei solare	80	36
3.2.6.	Valorificarea potențialului solar din comunitate	82	37
3.3.	Identificarea potențialului energetic al biomasei lemnoase	89	43
3.3.1.	Tipuri de biomasă lemnoasă	90	44
3.3.2.	Tehnologii de conversie a biomasei lemnoase	94	45
3.3.3.	Soluții tehnice aplicabile pentru arderea biomasei	98	46
3.4.	Concluzii si contribuții	103	49
<b>Capitolul 4: Conceperea, dezvoltarea si optimizarea sistemului hibrid pentru o comunitate formată din locuințe colective</b>		<b>105</b>	<b>51</b>
4.1.	Etape în dezvoltarea sistemului hibrid	105	51
4.2.	Datele de intrare	106	52
4.3.	Schema funcțională (TRNSYS)	107	53
4.4.	Simulare funcțională	112	55
4.4.1.	Necesarul de energie pentru încălzire	112	55
4.4.2.	Necesarul de energie pentru apă caldă menajeră	114	57
4.4.3.	Potențialul energetic solar	116	57
4.4.4.	Potențialul energetic al biomasei	119	59
4.5.	Schema proiectului tehnic (prototip)	119	59
4.6.	Soluții tehnice de implementare	121	60
4.7.	Algoritm general	126	62
4.8.	Metoda integrată de design și funcționare a sistemului Hibrid Solar Biomasă	127	63
4.9.	Concluzii si contribuții	131	67
		<b>132</b>	<b>68</b>

## **Capitolul 5: Studiu de caz**

5.1. Evaluarea necesarului de energie	133	68
5.1.1. Structura mediului construit	133	68
5.1.2. Necesarul de energie pentru încălzire	135	69
5.1.3. Necesarul de energie pentru apa caldă menajeră	137	70
5.1.4. Concluziile analizării necesarului de energie	138	70
5.2. Potențialul energetic	139	70
5.2.1. Potențialul energetic solar	139	71
5.2.2. Potențialul energetic al biomasei	143	72
5.3. Proiect tehnic	146	73
5.3.1. Sistemul solar-termic	146	73
5.3.2. Centrala pe biomasă	151	76
5.3.3. Sistemul hibrid (biomasă-solar)	158	83
5.3.4. Validarea rezultatelor	160	85
5.3.5. Concluzii	161	86
5.4. Concluzii și contribuții	161	86
<b>Capitolul 6: Concluzii finale. Contribuții originale. Diseminarea rezultatelor. Direcții viitoare de cercetare</b>	<b>163</b>	<b>88</b>
6.1. Concluzii finale	163	88
6.2. Contribuții originale	165	90
6.3. Diseminarea rezultatelor	166	91
6.4. Direcții viitoare de cercetare	167	92
<b>Bibliografie</b>	<b>168</b>	<b>93</b>
Anexa 1 – Scurt rezumat (română/engleză)	179	104
Anexa 2 – CV (română)	180	105
Anexa 3 – CV (engleză)	181	106
Declarația de autenticitate	182	-

*În rezumat sunt utilizate numerele de ordine ale capitolelor, subcapitolelor, figurilor și ecuațiilor din teză.*

## CONTENT

	Thesis	Abstract
<b>List of abbreviations and notations</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
<b>Chapter 1: Thermal energy systems for communities</b>	<b>8</b>	<b>3</b>
1.1. Heating energy production in communities. District heating	8	3
1.1.1. Classical systems of energy production in communities	8	3
1.1.2. Systems based on renewable energy sources for energy production in communities	12	5
1.2. State of play on the development of hybrid solar and biomass based systems for the production of heat at community level	14	6
1.2.1. Hybrid models (solar and biomass)	17	6
1.2.2. Structure of hybrid systems (solar and biomass)	26	11
1.2.3. The Advantages and Disadvantages of Hybrid Systems (Solar and Biomass)	27	11
1.3. Conclusions and contributions	29	13
1.4. The need to install hybrid systems	30	14
1.5. Objectives of the thesis	31	15
<b>Chapter 2: The thermal energy demand for community</b>	<b>32</b>	<b>16</b>
2.1. Defining the community	33	16
2.2. Characterization of built environment	33	17
2.3. Energy efficiency, energy performance of buildings	36	17
2.4. Characteristics of the building for heating demand	42	18
2.5. Methods of determining the heat demand at community level	44	20
2.5.1. Analytical method	44	20
2.5.2. Actual consumption method	51	24
2.5.3. Comparison of methods through case study	55	25
2.6. Conclusions and contributions	60	27
<b>Chapter 3: Assessing the energy potential of a community</b>	<b>62</b>	<b>29</b>
3.1. Renewable energy sources for thermal energy production	62	29



3.2.	The available solar energy potential	62	29
3.2.1.	Evaluating potential available through simulation	64	30
3.2.2.	Evaluating potential with specialized programs	68	34
3.2.3.	Method of calculating solar energy using data from local weather stations	72	35
3.2.4.	Comparing methods	75	35
3.2.5.	Systems applicable to communities to convert solar energy	80	36
3.2.6.	Exploiting the solar potential of the community	82	37
3.3.	Identifying the energy potential of biomass	89	43
3.3.1.	Types of biomass	90	44
3.3.2.	Biomass conversion technologies	94	45
3.3.3.	Technical solutions applicable to burning biomass	98	46
3.4.	Conclusions and contributions	103	49
<b>Chapter 4: Design, development and optimization of the hybrid system for a community of collective houses</b>		<b>105</b>	<b>51</b>
4.1.	Stages in the development of the hybrid system	105	51
4.2.	Input data	106	52
4.3.	Functional Scheme (TRNSYS)	107	53
4.4.	Functional simulation	112	55
4.4.1.	Energy needs for heating	112	55
4.4.2.	Energy demand for domestic hot water	114	57
4.4.3.	Solar energy potential	116	57
4.4.4.	The biomass energy potential	119	59
4.5.	Scheme of the technical project (prototype)	119	59
4.6.	Technical Implementation Solutions	121	60
4.7.	General algorithm	126	62
4.8.	Integrated design and operation method of Biomass Solar Hybrid System	127	63
4.9.	Conclusions and contributions	131	67
		<b>132</b>	<b>68</b>

**Chapter 5: Case Study**

5.1. Energy Needs Assessment	133	68
5.1.1. Structure of built environment	133	68
5.1.2. Energy needs for heating	135	69
5.1.3. Energy demand for domestic hot water	137	70
5.1.4. Conclusions of Energy Needs Analysis	138	70
5.2. The energy potential	139	70
5.2.1. Solar energy potential	139	71
5.2.2. The biomass energy potential	143	72
5.3. Technical project	146	73
5.3.1. Solar-thermal system	146	73
5.3.2. Biomass power plant	151	76
5.3.3. Hybrid system (biomass-solar)	158	83
5.3.4. Validate the results	160	85
5.3.5. Conclusions	161	86
5.4. Conclusions and contributions	161	86
<b>Chapter 6: Final Conclusions. Original contributions. Dissemination of results. Future research directions</b>	<b>163</b>	<b>88</b>
6.1. Final conclusions	163	88
6.2. Original contributions	165	90
6.3. Dissemination of results	166	91
6.4. Future research directions	167	92
<b>Bibliography</b>	<b>168</b>	<b>93</b>
Annex 1 - Short Abstract (English / Romanian)	179	104
Annex 2 – CV (Romanian)	180	105
Annex 3 – CV (English)	181	106
Declaration of Authenticity	182	-

*In summary are used the same serial numbers for the chapters, subsections, figures and equations as in PhD thesis.*

## INTRODUCERE

Conceptul strategic privind dezvoltarea durabilă a omenirii, a devenit prioritar și definitiv în interpretarea progresului [1]. Evoluții recente au demonstrat metode coerente de dezvoltare cu consecințe directe asupra mediului înconjurător și a calității vieții, adoptate la nivel de politici publice pentru conștientizare și acceptanță la nivelul populației.

În contextul în care, doar clădirile din Uniunea Europeană (UE) însumează o suprafață de aproximativ 24 miliarde m<sup>2</sup>, din care aproape 75% reprezintă sectorul rezidențial cu o medie de 87 m<sup>2</sup>/unitate, consumul crescut de energie aferent mediului rezidențial împreună cu schimbările climatice și cu nivelul scăzut de trai reprezintă 3 probleme majore [5] de acoperit în sensul dezvoltării conceptului de comunitate durabilă energetic [6], iar rezolvarea pe termen mediu și lung este dată de utilizarea surselor de energii regenerabile.

Ținând seama de faptul că proiectele dezvoltate până în prezent au demonstrat metodologii din perspectiva atingerii obiectivului de independența energetică (pentru comunitățile on-grid) sau autarhice (off-grid) [7], s-a constatat că utilizarea acestora la nivel comunitar implică o serie de particularități [8] întâmpinând bariere tehnologice [9] și financiare [10]. Acesta este motivul pentru care trebuie identificate gradual etapele de implementare prin utilizarea infrastructurii disponibile [11] și prin valorificarea potențialului energetic local [12].

Pornind de la certitudinea că mai bine de jumătate din populația EU trăiește în regiuni care ar putea dispune de cel puțin un sistem de încălzire districtuală [13] și observând faptul că sistemele actuale de încălzire districtuală acoperă doar 9% din necesarul total [14], se impune dezvoltarea de noi soluții și tehnologii care să ia în considerare mediul construit existent ca un întreg în locul abordării individuale [15].

Directiva privind energiile regenerabile (D 28/2009/EU [16]) împreună cu directiva privind eficiența energetică (D 27/2012/EU [17]) și cu directiva privind performanța energetică a clădirilor (D 31/2010/EU [18]) au activat un set de măsuri care să permită condiții propice pentru îmbunătățirea semnificativă și pe termen lung în ceea ce privește utilizarea surselor de energii regenerabile și performanța energetică din mediul construit al Europei [19]. România, în calitate de stat membru al Uniunii Europene, a armonizat legislația europeană privind sursele de energii regenerabile, eficiența energetică și performanța energetică a clădirilor, devenind un membru activ în demersul de atingere a obiectivelor propuse.

Astfel a fost creat un nou model energetic, durabil și acceptabil socio-economic, definit de către documentul European SET-Plan (Towards a European Strategic Energy Tehnology Plan [20]), armonizat de legislația românească pentru atingerea până în anul 2020, a pragurilor de: 20% reducere a gazelor cu efect de seră, 20% reducerea necesarului de energie prin eficientizare energetică, 20% din necesarul energetic să fie acoperit din surse regenerabile de energie și 10% din bio-carburanți [16] utilizând, complementar: Directivele europene privind standardele minime de performanță energetică (D 125/2009/EC [21]), etichetarea privind performanța energetică (D30/2010/EU [22]), regulamentele privind diminuarea emisiilor de CO<sub>2</sub> pentru vehicule (Reg. EU 333/2014 [23] și Reg. EC 443/2009 [24]), privind creșterea disponibilității fondurilor nerambursabile (ETSD- 2003/87/EC [25]), planul național de acțiune în domeniul energiei din surse regenerabile (PNAER [26]) și planul național de acțiune în domeniul eficienței energetice [27].

Obținerea unei comunități durabile independentă energetic (total sau parțial), utilizând surse regenerabile de energie disponibile pe/sau în apropierea amplasamentului de implementare, devine una din prioritățile majore ale activității de cercetare – dezvoltare și inovare pentru domeniul studiat. Această activitate este în concordanță cu legislația națională și europeană privind utilizarea surselor de energii regenerabile, a performanțelor energetice și a eficienței energetice care reglementează obiectivele strategice, termenele asumate și modalitatea de îndeplinire a acestora.

În acest context, problemele dezvoltate în teză se referă la: *a)* eficiența energetică și performanța energetică a clădirilor; *b)* dimensionarea comunităților energetice în funcție de necesități și potențial; *c)* modalitatea de asigurare a necesarului de energie termică în comunități; *d)* creșterea gradului de acceptanță și fezabilitate prin soluționarea problemelor de implementare și reducere a perioadei de amortizare.

Teza abordează problema implementării și optimizării sistemelor de energie regenerabilă la nivel comunitar, cu aplicabilitate asupra acoperirii necesarului de energie termică pentru încălzire, răcire și prepararea apei calde menajere. Relevanța subiectului abordat este certificată prin Planul Național de Cercetare, Dezvoltare și Inovare III în domeniul prioritar „*Energie, Mediu și Schimbări climatice*”, precum și de Strategia Europeană de Securitate Energetică (COM. 330/2014 [34]) care înglobează întreg cadrul legislativ european cu privire producerea și utilizarea energiilor regenerabile și la eficiența energetică.

De asemenea, se abordează metodologii de estimare și dimensionare cu rezultate asupra fezabilității astfel încât acestea să poată deveni instrumente viabile de creștere a gradului de absorbție a fondurilor structurale, în special cele care se referă la comunități (infrastructură mare) precum Programul Operațional Infrastructură Mare (POIM), axa prioritară 6 – „*Promovarea energiei curate și eficienței energetice în vederea susținerii unei economii cu emisii scăzute de carbon*”.

Plecând de la analiza în faza incipientă privind posibilitățile de asigurare a energiei termice în mediul construit, au fost generate modele și analizate mai multe sisteme mixte/hibrid bazate pe energii regenerabile, punându-se accent pe utilizarea energiei solare și a biomasei lemnoase. În baza studiului efectuat se obține un algoritm general global la nivelul comunităților pentru producerea de energie termică.

Rezultatul tezei constă într-un sistem hibrid de asigurare a energiei bazat pe surse de energii regenerabile, combinând un sistem solar-termic și o centrală de producere a energiei termice cu funcționare pe biomasă lemnoasă, astfel încât să fie satisfăcut întregul necesar de energie termică pe durata unui an.

Având în vedere infrastructura disponibilă și posibilitatea de realizare a unor investiții pentru îmbunătățirea sistemului de asigurare cu energie termică a municipiului Odorheiu Secuiesc din județul Harghita, a fost implementat, pentru o comunitate de aproximativ 2000 de locuitori, un sistem HSB de producere a energiei termice bazat pe energie solară și biomasă.

## CAPITOLUL 1: SISTEME DE PRODUCERE A ENERGIEI TERMICE PENTRU COMUNITĂȚI

Energia termică aferentă încălzirii și apei calde menajere (ACM) la nivel de comunitate se realizează prin (i) utilizarea de sisteme individuale (de locuință) pentru prepararea ACM și încălzire sau prin (ii) utilizarea de sisteme centralizate de încălzire districtuală la nivel de scară, bloc sau cvartal de blocuri atât pentru prepararea ACM cât și pentru încălzire, bazate, de regulă, pe combustibili fosili și biomasă.

Este evidentă necesitatea analizării cu prioritate a sistemelor de încălzire districtuală față de cele individuale având avantajul posibilității optimizării funcției de consum și funcționarea cu un impact scăzut asupra poluării mediului înconjurător.

### 1.1. Modalitatea asigurării energiei termice în comunități. Încălzirea districtuală

Modalitățile de asigurare a energiei termice în comunități, utilizând sisteme de încălzire districtuală, se diferențiază în funcție de dimensiunea sistemelor, amplasamentul acestora, comunitatea deservită etc., dar cel mai important aspect îl reprezintă tipul sursei de energie, definindu-se două tipuri de sisteme, respectiv cele bazate pe combustibili fosili (sisteme clasice) și cele bazate pe sursele de energie regenerabilă (sisteme moderne).

#### 1.1.1. Sisteme clasice de producere a energiei în comunități

Încălzirea districtuală a fost utilizată în scop comercial, prima oară în orașe precum Lockport și New York la începutul anilor 1870 respectiv 1880 [43]; cu toate acestea primul sistem există chiar din perioada medievală în zona Chaud-Aigues, Franța, prin distribuția apei calde provenite de la o sursă de apă geotermală, pentru o serie de case din cadrul comunității [44]. Primele sisteme de încălzire districtuală au fost inițiate în Europa la începutul anilor 1920, în Germania, sistemul fiind apoi implementat și în țările aparținând blocului comunist începând cu anii 1930.

În zilele noastre, sisteme majore de încălzire districtuală se regăsesc în orașe precum: Moscova, Paris, Copenhaga, Beijing, Kiev, New York, Seoul, Berlin, Varșovia, Helsinki, Hamburg, București sau Viena. Numărul total al sistemelor de încălzire districtuală fiind estimate la 80.000 [45], din care 60.000 în Europa [46].

#### Producerea de energie pentru încălzirea districtuală:

La nivel internațional utilizarea centralelor de co-generare pentru producerea energiei termice și electrice (CET), în detrimentul centralelor termice de producere a agentului termic, reprezintă argumentul necesar pentru înființarea sistemelor de încălzire districtuală [48]. Având în vedere că în prezent pierderile energetice ale CET pot fi diminuate prin recuperarea și reutilizarea căldurii în exces [49] pot fi identificate sisteme de diferite dimensiuni, chiar dacă sistemele mai mici nu sunt la fel de eficiente ca cele mari, dar nu necesită un sistem de distribuție extins.

În concordanță cu metodele de producere a energiei termice pentru încălzirea districtuală, Uniunea Europeană prezintă proporții semnificative: 72% energie termică produsă prin co-generare și 27% energie termică produsă cu surse de energii regenerabile, în comparație cu situația mondială: 56% co-generare și 9 % regenerabile [47], de unde reiese faptul că sistemele districtuale nu au fost implementate la adevăratul potențial și că mare parte din energia termică pentru sistemele districtuale se produce în cazane mari prin utilizarea de combustibili fosili, așa cum este arătat în figurile 1.2. și 1.3.

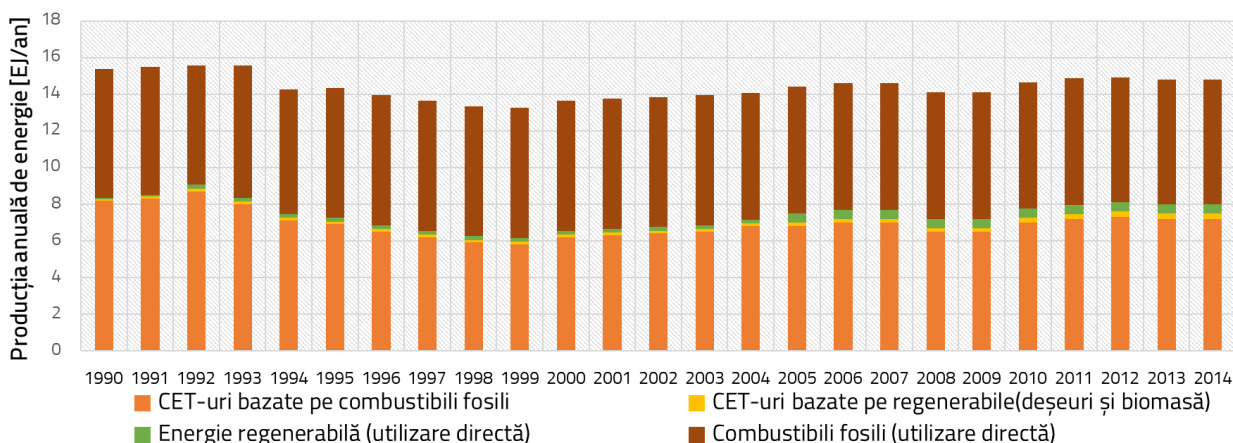


Figura. 1.2. Energia termică produsă pentru încălzirea districtuală la nivel mondial [47]

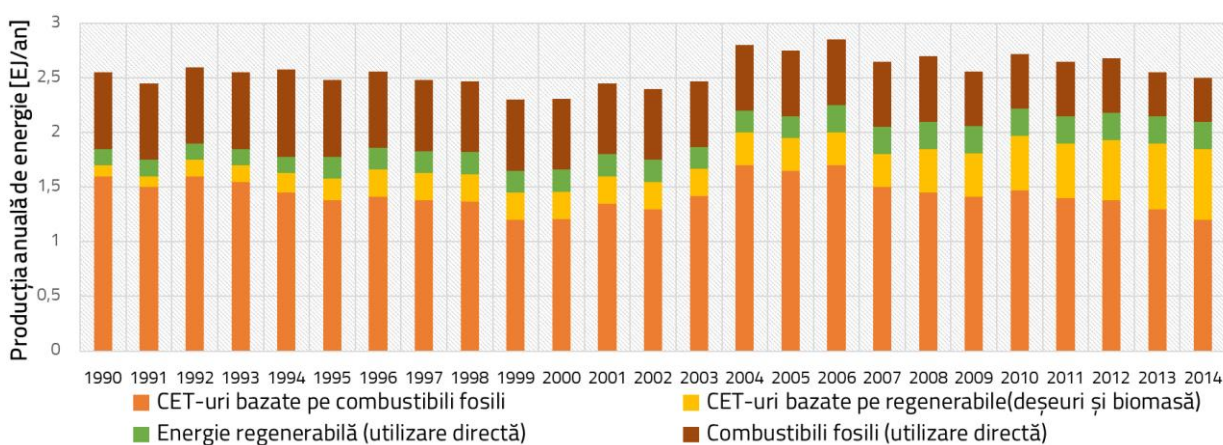


Figura. 1.3. Energia termică produsă pentru încălzirea districtuală la nivelul Uniunii Europene [47]

### Distribuția de energie termică:

Au fost definite patru sisteme generații/sisteme de distribuția energiei termice [50]. Prima generație s-a bazat pe abur ca agent termic, în timp ce următoarele generații se bazează pe agent termic apă caldă.

Majoritatea sistemelor districtuale din prima generație, care se bazau pe utilizarea aburului ca agent termic, au fost convertite pentru utilizarea apei sub formă de agent termic în principal datorită ineficienței transportului de abur, a pierderilor energetice și a mentenanței costisitoare. Cu toate acestea, în zilele noastre, încă mai există sisteme care utilizează aburul pe post de agent termic (ex. Manhattan, N.Y. sau centrul Parisului), dar aceste sisteme sunt viabile datorită densității mari de populație, a distanțelor scurte dintre utilizatori și a distribuției privind costurile [46].

A doua generație privind tehnologia de distribuție a încălzirii districtuale a fost introdusă începând cu anii 1920, când inginerii germani au identificat apa ca fiind un agent termic mai eficient. Această tehnologie a fost considerată cea mai bună disponibilă până în anii 1970, când inginerii finlandezi, danezi și suedezi au început să dezvolte sisteme de încălzire districtuală, transformând cea de-a doua generație într-una superioară (a treia generație) prin utilizarea conductelor pre-izolate/prefabricate și funcționarea sistemului la joasă temperatură.

Toate cele trei generații descrise anterior au ca sursă de energie utilizarea combustibililor fosili. Tranziția generală către sisteme energetice noi, cu emisii CO<sub>2</sub> scăzute impune schimbarea generației tehnologice privind încălzirea districtuală și astfel se naște ideea de a patra generație.

Prin generația a patra se impune identificarea unui nou sistem de încălzire districtuală care va trebui să îndeplinească necesități și condiționări diferite utilizând surse de energii regenerabile variabile, mai puține centrale de co-generare și locuințe de clădiri cu consum energetic scăzut [50].

În momentul de față există în funcțiune sisteme de a doua generație (în canal termic) și a treia generație, utilizând agent termic apă, la diferite nivele de temperatură cu diferite standarde de utilizare prezentând pierderi între 5% și 35% [45]. Lungimea totală a sistemelor de distribuție încălzire districtuală este estimată la circa 600.000 km în întreaga lume și aproximativ 200.000 km în UE [46].

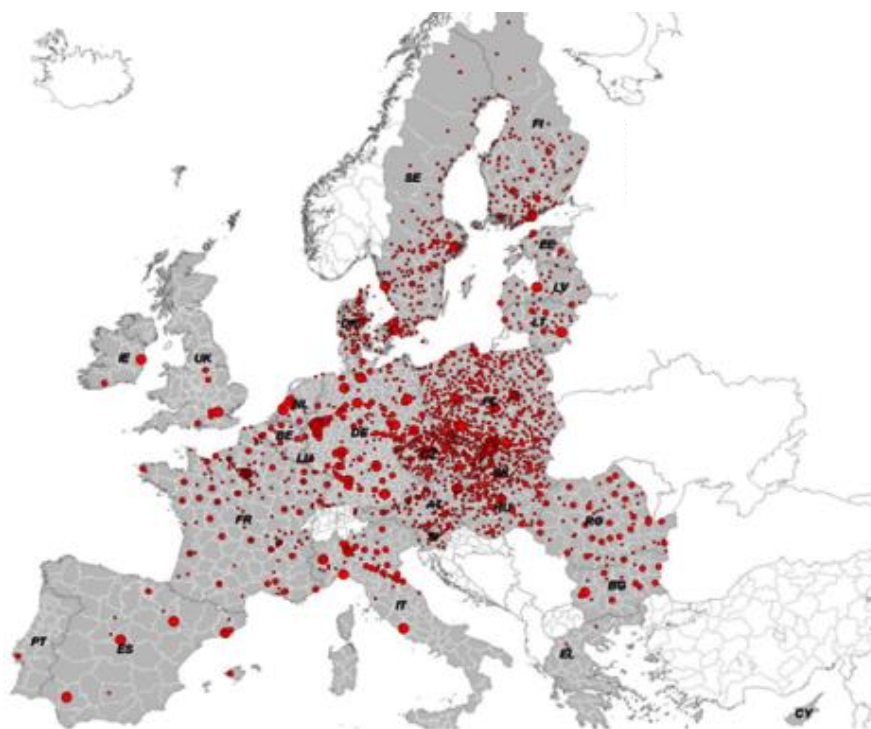


Figura 1.5. Orașe din Europa cu sisteme de încălzire districtuală instalate [51]

#### Livrarea energiei în sistemul de energie districtuală:

Substațiile (modulele termice) livrează energie termică pentru încălzirea și prepararea apei calde menajere, de regulă prin intermediul unor schimbătoare de căldură. Utilizarea schimbătoarelor de căldură este motivată de utilizarea a două sisteme diferite cu regim de presiune diferit, gestionând astfel diferențele mari de altitudine. În același timp schimbătoarele de căldură sunt utilizate și pentru prepararea apei calde menajere.

Cea mai bună tehnologie disponibilă în Europa este utilizarea de substații echipate cu sisteme individuale de preparare apă caldă menajeră, încălzire, monitorizare individuală și controlul calitativ al energiei livrate.

#### 1.1.2. Sisteme bazate pe surse de energii regenerabile pentru producerea de energie în comunități

Proporția energiei termice aferentă sistemelor de încălzire districtuală produsă prin intermediul combustibililor fosili este de 90% la nivel mondial și 70% în UE, deoarece combustibilii fosili reprezintă

energia de intrare atât pentru sistemele de co-generare (CET) cât și pentru centralele de producere a energiei termice [47].

Pentru a reduce emisiile de CO<sub>2</sub> aferente acestor centrale, noi sisteme bazate pe surse de energie non-fosile sau regenerabile trebuie să înlocuiască sistemele existente. Printre acestea, au fost identificate următoarele sisteme:

- Recuperarea căldurii din sistemele existente de arderea deșeurilor;
- Recuperarea căldurii de la sisteme nucleare de producere a energiei electrice;
- Utilizarea de câmpuri de colectoare solare pentru încălzirea districtuala;
- Utilizarea energiei geotermale;
- Utilizarea biomasei pentru producerea de energie termică;
- Integrarea cu sisteme de producere a energiei electrice.

Există în prezent o serie de sisteme de încălzire districtuala conectate la centrale de co-generare. În viitor, sisteme de producere a energiei electrice cu surse de energii regenerabile precum energia eoliană sau solară vor crea noi oportunități și condiționări pentru integrare. Se constată că excedentul de energie electrică poate fi absorbit în sisteme de încălzire districtuala folosind cazane electrice sau pompe de căldură. Acest tip de integrare a fost deja cercetat în Danemarca [60] și SUA [61].

## **1.2. Stadiul actual privind dezvoltarea sistemelor hibride bazate pe energia solară și biomasă pentru producerea energiei termice la nivel de comunitate**

Analizând literatura de specialitate și sistemele existente de producere a energiei în comunități, în special cele bazate pe surse de energii regenerabile, se observă o tendință covârșitoare în utilizare a energiei solare combinată cu energia biomasei, în special în Danemarca privind utilizarea centralelor de colectoare solare și în Austria sau Finlanda privind sistemele de conversie a biomasei lemnoase.

În Europa au fost identificate peste două sute de comunități care utilizează sisteme hibride (solar și biomasă), de capacități instalate cu diverse suprafețe de colectoarele solare, existând până în momentul de față peste 1.500.000 m<sup>2</sup> de colectoare solare instalate (echivalentul a peste 1.000 MW energie termică instalată) care deservește încălziri districtuale.

### **1.2.1. Modele de sisteme hibride (solar și biomasă)**

Pornind de la cele prezentate, au fost identificate cinci modele de sisteme implementate, după cum urmează:

**Modelul danez:** Danemarca este cel mai mare dezvoltator de sisteme hibride (solar și biomasă) din lume [39]. Schema modelului danez se bazează producția de energie termică prin colectoare solar-termice și stocarea acesteia într-un rezervor subteran de mari dimensiuni. Ulterior, energia termică este utilizată direct pentru producerea de energie electrică sau, la nevoie, pentru sistemul de încălzire districtuală. Complementar cu sistemul solar-termic, modelul are în componentă un sistem de producere a energiei termice în cazane de conversie a biomasei, care la rândul ei este utilizată direct pentru încălzirea districtuala sau introdusă într-o instalație auxiliară bazată pe ciclul Rankine (ORC) de producere a energiei electrice și termice în co-generare.



De regulă, sisteme de acest tip au fost implementate în proximitatea comunităților de mici dimensiuni, astfel încât să poată acoperii întreg necesarul de energie electrică și care să satisfacă fără probleme necesarul de energie termică.

Avantajul major al acestor sisteme este dat de faptul că pot fi extinse până la suprafețe colosale de colectoare solare (ex. Silkeborg, figura 1.8. – aprox. 157.000 m<sup>2</sup> suprafață activă a colectoarelor) ceea ce extinde semnificativ capacitatea de producție de energie termică [39]. Un alt avantaj este dat de faptul că are capacitatea de producere a energiei electrice și livrarea acesteia într-un regim constant datorat utilizării sistemului complementar de conversie a biomasei.

Principala provocare în dimensionarea unor astfel de sisteme este dată de dimensionarea rezervorului de energie termică și utilizarea acestuia într-un regim de pierderi rezonabile, având în vedere că acest tip de rezervor este construit în pământ, de cele mai multe ori nu este termoizolat și nu poate îndeplini funcția de sezonalitate.



*Figura 1.8. Sistemul hibrid solar-biomasă din Silkeborg, Danemarca. [39]*

Pornind de la exemple de comunități precum Marstal (Figura 1.9), Vojens, Gram, Dronninglund, în Danemarca sau Akershus în Norvegia care au realizat centrale termice solare imense (cu suprafețe utile între 30.000 și 150.000 m<sup>2</sup>) conectate la sistemul de încălzire districtuală constatăm că principiul de funcționare se bazează pe conversia energiei solare, în colectoare solare montate la sol pe câmpuri agricole amenajate. Energia rezultată în urma conversiei este stocată în rezervoare de mare capacitate (între 60.000 și 100.000 m<sup>3</sup>). Aceste rezervoare sunt construite în pământ, prin amenajare de diguri și săpătură în taluz, cu adâncime cuprinsă între 15 și 50 metri, acoperite cu folii de protecție, dar neizolate termic (Figura 1.10.).



*Figura 1.9. Sistemul hibrid solar-biomasă din Marstal, Danemarca [63]*

**Modelul suedez:** se bazează pe sisteme (solar și biomasă) de scară/bloc/clădire combinate cu sisteme de centrale solare districtuale. Schema de funcționare pornește de la implementarea unei centrale solare termice, compusă dintr-un ansamblu colectoare solar-termice și rezervor de mari dimensiuni. De regulă schema este implementată în proximitatea unei comunități, cu acces facil la sistemul de încălzire districtuală. Energia termică produsă în sistemul centralizat de colectoare solar termice este distribuită locuințelor individuale sau multi-familiale unde, în funcție de necesitate sau disponibilitate, este completată cu energie termică produsă local în sisteme proprii de conversie a energiei solare sau în cazane de conversie a biomasei.

Spre deosebire de modelul danez, modelul suedez se dimensionează strict pentru acoperirea necesităților de energie termică ale comunității deservite. Sistemul solar-termic centralizat depinde de crearea unui rezervor de stocare a energiei termice pentru perioadele de maxim (în sezonul de vară) și se bazează, ca sursă complementară de energie termică, pe sistemele locale.

Avantajele unor astfel de sisteme sunt definite de posibilitatea extinderii centralei solar-termice în proximitatea comunităților, pe terenuri inutilizabile (ex. Centrală solar-termică 10.000 m<sup>2</sup> din Kungälv, figura 1.15.) și de asigurarea independenței utilizatorilor prin existența sistemelor locale de producere a energiei termice.

Pe lângă dezavantajul necesității utilizării unui rezervor de stocare a energiei termice de mari dimensiuni, de regulă executat în subteran fără termoizolare adecvată, modelul prezentat are și dezavantajul pierderilor energetice realizate prin conductele de transport, datorate distanței față de comunitate.



Figura 1.15. Centrala solar-termică 10.000 m<sup>2</sup> din Kungälv, Suedia [65]

**Modelul austriac:** se bazează pe sisteme descentralizate de centrale combinate utilizând energia solară și cea a biomasei. De regulă, aceste sisteme utilizează o schemă clasică de producere locală a energiei termice, cu diferența că acest model conferă posibilitatea exportului de energie termică, prin intermediul sistemului de încălzire districtuală, către alte comunități sau clădiri din proximitate.

Dimensionarea sistemului solar termic se face în funcție de suprafețele disponibile proiectului și de poziționarea colectoarelor, dar nu depinde de rezervoare pentru stocarea energiei termice, deoarece surplusul de energie produs în perioada sezonului cald poate fi exportat.

Dimensionarea sistemului de conversie a biomasei se realizează astfel încât să acopere întreg necesarul de energie termică atât pentru încălzire cât și pentru furnizarea de apă caldă menajeră.

Dezavantajele unui astfel de sistem sunt definite de limitările de spațiu disponibil pentru montarea sistemului de colectoare solar-termice și de pierderile de energie datorate conductelor de transport până la comunitățile importatoare.



Figura 1.17. Clădirea AEVG Graz, Austria [66]



**Modelul german:** se bazează pe sisteme centralizate de utilizarea energiei solare și a biomasei. Schema de principiu relevă producția de energie termică la nivel centralizat în sisteme de conversie a biomasei și cu aport de la sisteme solar-termice montate în proximitatea centralelor cu funcționare pe biomasă.

Avantajele sistemului sunt date de posibilitatea asigurării securității livrării cu agent termic indiferent de sezon prin utilizarea cazanului de conversie a biomasei și posibilitatea acoperirii necesarului de energie termică pe durata sezonului cald (cu investiții diminuate) prin sistemul de colectoare solar-termice care poate utiliza rezervoarele și alte elemente de infrastructură ale sistemului de conversie a biomasei.

Dezavantajul unui astfel de sistem este definit de posibilitățile limitate de utilizare a sistemului de colectoare solar-termice și de pierderile semnificative generate de conductele de transport a energiei termice în cadrul sistemului de încălzire districtuală.



*Figura 1.19. Sistemul hibrid solar-biomasă Crailsheim, Germania [67]*

**Modelul francez și polonez:** se bazează pe sisteme descentralizate (locale) de producere a energiei utilizând biomasă, combinate cu sisteme de colectoare solare, formând o rețea de încălzire districtuală.

Această soluție este adoptată, în special, în aglomerări urbane cu multe clădiri/blocuri de apartamente, unde nu există spațiul disponibil sau nu se pot integra colectoare solar termice pe sau în proximitatea clădirilor deservite.

Modul de dimensionare se realizează determinând necesarul de energie termică la nivel de clădire/bloc de locuințe, care să poată fi acoperit integral cu sistemul de conversie a biomasei, iar sistemul de colectoare solare aduce un aport de energie termică, în special în perioada sezonului cald.

Soluția are avantajul asigurării necesarului de energie integral din surse de energii regenerabile, depășește limite de acceptanță arhitecturală în cadrul marilor aglomerări urbane, prin identificarea de posibilități inovative de amplasare a colectoarelor solar termice, fără a afecta semnificativ cadrul arhitectural sau terenuri utile (ex. Sistem de colectoare solare cartierul Balma, Toulouse, Franța, figura 1.21).

Dezavantajele sunt date de necesitatea utilizării unor rezervoare mari de acumulare a energiei termice produse de colectoarele solar termice pe perioadele de maxim, situație care aplicată în cadrul marilor aglomerări urbane limitează semnificativ posibilitățile de extindere a sistemului de colectoare solar termice.

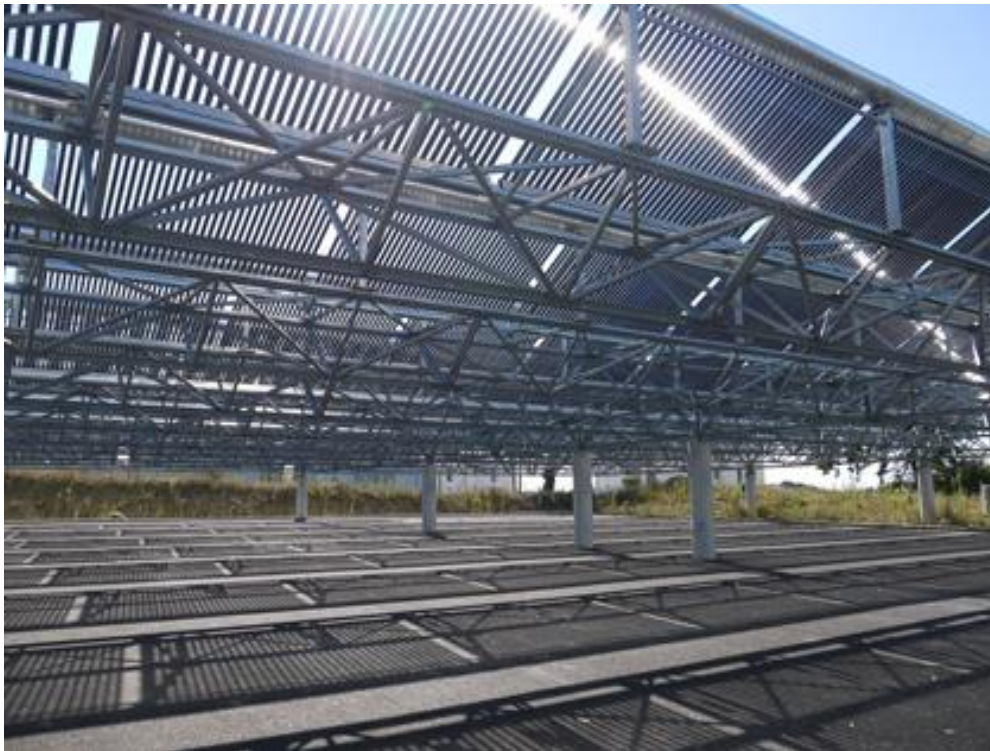


Figura 1.21. Sistem de colectoare solare cartierul Balma, Toulouse, Franța [68]

### 1.2.2. Structura sistemelor hibride (solar și biomasă)

Având în vedere modelele prezentate, identificăm în literatura de specialitate, trei posibilități de producere a energiei termice în sisteme hibride (solar și biomasă), după cum urmează:

- sistem centralizat de producție și distribuție (ex. modelele danez și german);
- sistem descentralizat de conversie a energiei solare (de cvartal/cartier) combinat cu un sistem centralizat de conversie a biomasei și de distribuție a energiei termice (ex. modelele suedez, francez și polonez);
- sistem individual (locuință/bloc) de conversie locală a energiei solare, combinat cu un sistem centralizat de conversie a biomasei și de distribuție a energiei termice (ex. modelul austriac).

### 1.2.3. Avantajele și dezavantajele sistemelor hibride (solar și biomasă)

Având în vedere cele cinci modele de sisteme hibrid identificate și structura definitorie a acestora, respectiv sistemele centralizate, sistemele descentralizate de producere a energiei solare combinate cu sistemele centralizate de conversie a biomasei și sistemele complet descentralizate, se identifică următoarele avantaje:

- Posibilitatea de utilizare a sistemelor solar-termice la scară mare (cu suprafețe cuprinse între 500 și 150.000 m<sup>2</sup>);
- Asigurarea necesarului de energie termică cu ajutorul sistemului solar-termic, cel puțin pe durata sezonului cald;

- Diminuarea emisiilor de CO<sub>2</sub> pe perioada utilizării sistemelor solar-termice;
- Utilizarea unui sistem complementar față de sistemul Solar-Termic (și de back-up) prin instalarea de sisteme de conversia biomasei lemnoase, mai ales în condițiile în care biomasa lemnoasă este considerată neutră din punct de vedere al emisiilor de CO<sub>2</sub> așa cum este prevăzut în directiva 2003/87/CE.

Pe de altă parte sistemele descrise prezintă o serie de dezavantaje, după cum urmează:

- Pentru sistemele mari se constată necesitatea amplasării sistemelor solar-termice în afara mediului construit ceea ce implică instalarea de conducte de transport energie termică generând pierderi substanțiale. Aceste sisteme se dimensionează funcție de suprafețele disponibile pentru instalare și de posibilitățile de stocare a energiei.
- Sistemele solar-termice, centralizate cu funcționare multi-sezonieră necesită construcția de rezervoare imense pentru stocarea energiei termice ceea ce conduce la pierderi semnificative de energie;
- Sistemele semi-descentralizate (sisteme solar-termice locale și sisteme biomasă centralizate), necesită instalarea/existența unei rețele de încălzire districtuale cu preparare locală astfel încât să se poată implementa sistemele solar-termice descentralizate ceea ce conduce, pe lângă pierderile de energie termică generate de transportul energiei de la centrala pe biomasă și la costuri foarte mari privind instalarea de sisteme locale de preparare și stocare a energiei provenită de la sistemele individuale solar-termice.
- Sistemele complet descentralizate nu se bazează pe rețele de încălzire districtuală și majoritatea necesită atât alocarea de spații (încăperi) și suprafețe (pentru sistemul ST) speciale cât și investiții foarte mari (la limita fezabilității) pentru crearea de instalații individuale.
- Sistemele de conversie a biomasei lemnoase generează pe lângă emisiile reglementate de CO<sub>2</sub> și alte tipuri de emisii nocive (ex. oxid de carbon CO, oxizi de sulf SO<sub>x</sub>, oxizi de azot NO<sub>x</sub>, acid clorhidric HCL, etc.) care, de regulă, sunt în limitele definite de cadrul legal, dar în special la pornirea operării cazanelor aceste limite sunt depășite până la atingerea pragului optim de funcționare.

Modelul propus în teză, instalarea unui sistem hibrid solar-biomasă în interiorul comunității și utilizând elemente ale mediului deservit, abordează o nouă perspectivă în dezvoltarea acestor sisteme reducând dezavantajele sistemelor identificate, după cum urmează:

- (1) Diminuarea pierderilor de energie datorate distanțelor/lungimilor mari de conducte de transport agent termic, prin instalarea sistemului hibrid centralizat în cadrul comunității utilizând elemente existente din mediul construit și, acolo unde este cazul, din infrastructura disponibilă pentru încălzirea districtuală.
- (2) Diminuarea pierderilor de energie datorate rezervoarelor de stocare a energiei, prin optimizarea capacităților acestora astfel încât să deservească necesitățile personalizate ale sistemului și modificarea temperaturilor de funcționare/stocare, până la maximum posibil (90-95 °C), prin

intercalarea unui set de schimbătoare de căldură între circuitul solar și circuitul de distribuție/preparare ACM.

- (3) Optimizarea costurilor și a fezabilității prin dimensionarea personalizată a sistemelor, funcție de necesarul de căldură și prin crearea unui sistem centralizat, utilizând un sistem local de încălzire districtuală.
- (4) Diminuarea emisiilor nocive prin limitarea numărului de porniri/opriri ale cazanelor de conversie a biomasei, în special pe durata sezonului cald, prin utilizarea exclusivă a sistemului solar-termic.

### 1.3. Concluzii si contribuții

În urma analizei stadiului actual de asigurare a necesarului de energie termică într-o comunitate, s-au constatat următoarele **concluzii**:

- a) În marea lor majoritate, sistemele de producere a energiei termice într-o comunitate sunt actualmente bazate pe combustibili fosili, dar trendul, determinat și de legislație, este de a crește procentul de energie din surse regenerabile prin conceperea și implementarea de sisteme hibride (regenerabile + combustibili solizi) la nivel de comunități.
- b) În Europa există peste 200 de comunități în care sunt implementate sisteme hibride bazate pe energia solară și biomasă, care cuprind peste 1.500.000 de colectoare solar-termice.
- c) Există la nivel European cinci modele de sisteme hibride (modelul danez, modelul suedez, modelul austriac, modelul german, modelul francez și polonez) care diferă prin modul de producere și distribuție a energiei termice (centralizat/descentralizat) și structura sistemului de conversie a energiei solare (la nivel de cvartal/cartier sau la nivel de locuințe/bloc).
- d) Nu a fost identificată în literatură o metodologie de concepere și dezvoltare a sistemelor hibride de tip energie solară- biomasă pentru producerea de energie termică la nivelul unei comunități de locuințe colective, prin considerarea necesarului de energie, a potențialului de resurse, elaborarea de variante și alegerea celei optime.
- e) Problematika dezvoltării unui astfel de sistem hibrid solar-biomasă la nivelul unei comunități de locuințe colective (blocuri) poate fi abordată fie prin conceperea unui nou sistem, pornind de la un sistem existent bazat pe biomasă.

Prin studiul efectuat se aduc o serie de **contribuții** precum:

- a) Identificarea modului de producere a energiei termice la nivel de comunități, trendul în dezvoltarea și implementarea de sisteme compatibile cu evoluția legislației în domeniu.
- b) Identificarea comunităților în care deja există implementate sisteme hibride bazate pe conversia energiei solare și arderea biomasei, în urma analizei unui număr mare de comunități.
- c) Evidențierea modelelor de sisteme hibride de tip solar-biomasă implementate la nivel european (5 modele) și a particularităților acestora privind producerea energiei (centralizat/descentralizat) și structura sistemului solar-termic descentralizat la nivel de cvartal/cartier sau la nivel de locuințe.
- d) Identificarea obiectivului general al tezei și a patru obiective operaționale pentru dezvoltarea și implementarea unui sistem hibrid solar-biomasă utilizat pentru o comunitate de locuințe colective (blocuri).

#### **1.4. Necesitatea instalării sistemelor hibrid**

Sistemele solar-termice, instalate independent pot asigura cu energie termică, funcție de radiația disponibilă, necesarul de energie pe durata sezonului cald, utilizând rezervoare de stocarea energiei pentru compensarea zilelor dezavantajoase.

Acest tip de sisteme este utilizat pentru asigurarea energiei necesare preparării ACM și, atunci când există disponibil (condiționat fiind de rezervoare de stocare de mare capacitate), pentru aport la încălzire, în special în perioadele de tranziție. Necesarul de energie pe durata sezoanelor de tranziție și pe durata sezonului rece poate fi asigurat din surse alternative de energie (fosile sau regenerabile).

Sistemele de conversie a biomasei în energie termică sunt utilizate la scară largă atât pentru încălzire cât și pentru prepararea ACM și pot fi utilizate pe durata întregului an. Aceste sisteme depind de potențialul comunității în livrarea de biomasă (materie primă), de capacitățile minime la care cazanele cu funcționare pe biomasă pot funcționa și de capacitățile maxime ale rezervoarelor de stocare a energiei astfel încât, pe durata sezonului cald să se poată realiza cât mai puține cicluri pornit/oprit.

#### **Avantajele sistemului hibrid solar-biomasă față de sisteme independente solar sau biomasă:**

Analizând profilul necesarului de energie funcție de sezonalitate (cald, tranziție și rece) se constată posibilitatea defalcării consumului pentru (i) prepararea ACM și (ii) pentru încălzire; cu precizarea că necesarul de încălzire este mult mai mare față de cel pentru prepararea ACM. În acest context, a fost analizată posibilitatea creării a doua sisteme independente (solar/solar, biomasă/biomasă) și unul hibrid (solar/biomasă) care să fie dimensionate și operate funcție de necesar.

Un singur sistem care să asigure energia termică doar din conversia energiei solare (atât pentru sezonul cald cât și în sezonul rece) ar duce la excedent de energie inutilizabilă pe durata sezonului cald, iar separarea în două sisteme (vară vs. iarnă) tot ar duce la dimensiuni nefezabile ale câmpului de colectoare solare care să asigure necesarul de energie pe durata sezonului rece.

Cazanele de conversie a biomasei pot îndeplini condiția de sezonalitate (i) fie prin existența unui singur sistem care este dimensionat să acopere situația cea mai dezavantajoasă (sezonul rece), dar acest sistem necesită rezervoare foarte mari pentru diminuarea ciclurilor pornit/oprit pe durata verii; (ii) fie prin dimensionarea unui sistem combinat cu cazane specifice de preparare ACM pentru sezonul cald și alte cazane (de capacitate mai mare) care să asigure necesarul de încălzire pe durata sezonului rece.

Combinarea celor două sisteme (solar și biomasă), utilizând avantajele specifice, respectiv utilizarea pe durata sezonului cald a sistemului de colectoare solar termice și dimensionarea personalizată acestuia pentru prepararea ACM combinată cu utilizarea cazanelor de conversie a biomasei pe durata sezonului rece cu dimensionare funcție de necesarul de încălzire și ACM duce la o utilizare mai responsabilă a materiei prime (biomasei) disponibile, diminuarea emisiilor prin scăderea ciclurilor pornit/oprit ale sistemului de conversie a biomasei (în special pe durata sezonului cald), oferă posibilitatea de complementaritate (back-up) a sistemului biomasă în raport de cel solar-termic și conferă timp



suficient pentru lucrările de mentenanță pe perioadele de repaus ale celor două sisteme (biomasă vara și solar iarna)

Un alt set de avantaje ale sistemului hibrid solar-biomasă sunt create prin asigurarea celor două sisteme dimensionate funcție de sezonality și prin utilizarea complementară a tehnologiei de stocare (ex. rezervoare de energie comune) și cea de distribuție districtuală ceea ce conduce la optimizarea costurilor privind investiția și îmbunătățirea fezabilității cu efecte asupra gradului de acceptanță.

### 1.5. Obiectivele tezei

Obiectivul general este **dezvoltarea unei metodologii de concepere și proiectare a sistemelor hibride de asigurare a energiei termice într-o comunitate de locuințe colective prin conversia energiei solare și arderea biomasei lemnoase.**

Obiectivele operaționale sunt:

1. Calculul necesarului de energie termică la nivelul comunității în mediul construit.
2. Evaluarea potențialului resursei pentru producerea de energie termică în comunitate.
3. Conceperea, dezvoltarea și optimizarea sistemului hibrid pentru comunitatea formată din locuințe colective.
4. Validarea metodologiei pe un studiu de caz privind o comunitate de locuințe colective.

## CAPITOLUL 2: CALCULUL NECESARULUI DE ENERGIE TERMICĂ LA NIVELUL COMUNITĂȚII ÎN MEDIUL CONSTRUIT

Calculul necesarului de energie termică în mediul construit la nivel de comunitate necesită definirea comunității, cunoașterea caracteristicilor mediului construit din comunitate și a performanței energetice a acestuia.

### 2.1. Definirea comunității:

Sunt mai multe moduri de definire a unei comunități, funcție de obiectivul prioritar. Din perspectivă energetică în mediul construit [69], [70], [71] o comunitate este definită prin:

- Limite fizice, suprafață și relief, acesta putând să însemne un sat, cartier, oraș, județ, țară, regiune cu administrație, activități și responsabilități comune;
- Demografie, care prin dinamica ei privind atât locuitorii stabili cât și cei flotanți determină cantitatea de energie necesară și evoluția consumului de energie;
- Potențialul de resurse locale privind energia din surse regenerabile;
- Structura mediului construit: principalii consumatori sunt defalcați în funcție de sectoarele de activitate: rezidențial, industrial, administrativ și comercial. Sectoarele de activitate determină caracteristicile principale ale construcției precum și tipul de consum. Caracteristicile elementare ale clădirilor sunt: geometria clădirii și orientarea față de punctele cardinale; componentele anvelopei clădirii (din punct de vedere termal și optic); destinația construcției (case individuale, apartamente, birouri, unități de producție, utilități, etc.), iar pentru construcțiile existente caracteristicile se vor completa cu sistemele metrologice de măsură existente [71].
- Sub-comunități: la nivel conceptual acestea pot fi fizice ori economice, însă, în oricare circumstanță, trebuie îndeplinit obiectivul de comunitate durabilă din punct de vedere energetic [70]. Astfel, în cazul acoperirii necesarului de energie termică, în special pentru comunități de locuințe colective, limitele sunt impuse de posibilitatea adaptării sistemelor existente/clasice de producere și distribuție a energiei astfel încât noile soluții proiectate să devină complementare și alternative din punct de vedere tehnologic și suportabile din punct de vedere estetic și financiar. În multe situații este posibilă dimensiunea comunității să fie extinsă până la atingerea obiectivelor energetice, iar granițele vor fi dictate de mărime, resursele asociate și gradul de separare față de comunitățile înconjurătoare [8].
- Infrastructura disponibilă: în cazul comunităților din mediul construit, elementele determinante pentru stabilirea indicatorilor de calcul și limitativi, de utilizare a soluțiilor alternative, sunt reprezentate de depășirea barierelor de acceptanță socială și politică [8] și de constrângeri din punct de vedere arhitectural, estetic, tehnologic și de suportabilitate financiară [72]. Spre exemplu, o stradă dintr-o zonă construită deși este posibil să fie capabilă să atingă gradul de independență energetică (din perspectiva motivării și a beneficiilor) nu poate depăși limitele financiare și barierele tehnologice existente în prezent [8].

În funcție de infrastructură disponibilă, se pot alege tehnologii aplicabile, astfel încât să se poată utiliza întregul potențial atât din punct de vedere al resurselor locale de energie regenerabile cât și din punct de vedere tehnologic. Comunitățile ideale pentru conversie tehnologică sunt comunitățile care dispun de rețele de încălzire centralizată (ex. un bloc, un cvartal, un cartier), dar pot fi identificate și alte soluții de centralizare în funcție de necesități și viabilitate. Astfel, se vor evidenția toate rețelele electrice și de

încălzire districtuală de care dispune comunitatea, toate tehnologiile existente de producerea energiei, precum și toate suprafețele construite și neconstruite care pot fi puse la dispoziția proiectului.

## 2.2. Caracterizarea mediului construit

Pornind de la necesitatea studierii mediului construit din perspectiva comunităților și în special a comunităților mici, sunt analizate tipurile de clădiri și caracteristicile acestora în comparație cu sistemele aplicabile de asigurarea energiei.

### Clasificarea clădirilor de locuit

În Europa clasificarea clădirilor de locuit se realizează în funcție de:

- țară, regiune (zona climatică), anul construcției, clasificări adiționale
- tipul construcției: locuințe individuale (**Single Family Home - SFH**), locuințe alipite (**Teracedhouse- TH**), locuințe mulți familiale (**Multi Family House - MFH**), blocuri de apartamente (**Apartment Block - AB**).

La nivelul UE, clasificarea și comportamentul energetic al clădirilor este centralizat și monitorizat în conformitate cu EN 15217 [73] (transpus în legile naționale - MC 001/2006 [74] în România) astfel încât a fost creată o baza unică de date pentru compararea consumurilor energetice.

### Caracteristicile locuințelor colective

Locuințele colective se regăsesc, de regulă, în aglomerări urbane, cu densități medii și mari în raport cu suprafața ocupată și cea construită. De-a lungul timpului, tipologia și modul de construite a locuințelor colective a suferit îmbunătățiri și adaptări la nevoile urbane, ele fiind catalogate în funcție de: anul construcției (așa cum este arătat în tabelul 2.2), structura construcției (înălțime, număr de etaje, grad de alipire etc.), materialul de constituire a anvelopei clădirii (zidarii, izolații, ferestre, etc.), suprafața deservită și numărul de locuitori, densitatea în cadrul urbanistic general și clasa energetică de consum (în conformitate cu certificatele de performanță).

Informațiile privind tipologia construcțiilor sunt culese, de regulă, de la autoritățile locale, iar acestea se împart în: clădiri alipite pentru locuințe multi-familiale (1-3 etaje), clădiri mici de apartamente (3-5 etaje), clădiri înalte de apartamente (mai mari de 6 etaje)

*Tabelul 2.3. Caracteristicile urbanistice ale locuințelor colective [77]*

	Cod (TABULA)	Suprafața utilă medie [m <sup>2</sup> ]	Număr mediu locuitori [locuitori/unitate]
Locuințe multifamiliale	MFH	60-95	4
Blocuri de apartamente	AB	60-75	3

## 2.3. Eficiența energetică, performanța energetică a clădirilor

Se estimează că Uniunea Europeană va realiza economii de energie în jurul valorii de 18-19% până în anul 2020 [78], ratând astfel ținta propusă cu doar 1%-2%. Cu toate acestea, dacă țările EU ar armoniza și implementa legislația cu privire la eficiența energetică, ținta de 20% ar putea fi atinsă fără alte măsuri suplimentare [79].

Având în vedere faptul că e o clădire nouă consumă de cel puțin 5 ori mai puțină energie decât una veche și nerenovată, precum și faptul că aproximativ 35% din construcțiile UE sunt mai vechi de 50 de ani [79], prin îmbunătățirea performanțelor energetice ale clădirilor putem reduce considerabil consumul de energie și emisiile de gaze cu efect de seră [18].

### **Eficiența energetică**

Eficiența energetică este definită ca fiind raportul dintre suma performanței, a serviciilor, a bunurilor și a energiei necesare clădirii și energia folosită pentru atingerea scopului [17].

Cadrul legal pentru creșterea eficienței energetice îl reprezintă directiva D 27/2012/EU. Prin utilizarea mai eficientă a energiei, populația poate diminua costul cu facturile energetice, în timp ce la nivel global se pot reduce emisiile de gaze cu efect de seră, precum și dependența de furnizorii externi de petrol și gaz [17].

Eficiența energetică necesită îmbunătățiri pentru fiecare etapă, începând cu producerea de energie și terminând la utilizatorul final, dar în același timp trebuie ținut cont de faptul că beneficiile rezultate ca urmare a eficienței energetice trebuie să depășească investițiile realizate pentru aceasta [80].

### **Performanța energetică a clădirilor**

Performanța energetică a clădirilor reprezintă energia efectiv consumată sau estimată a fi consumată astfel încât să răspundă necesităților privind utilizarea în condiții normale a clădirii. Aceste necesități includ în principal: energia necesară încălzirii, prepararea apei calde menajere, energia necesară răcirii sau ventilării precum și energia necesară iluminatului.

Articolul 9 din cadrul D 31/2010/EU impune statelor membre ca să se asigure că începând cu data de 31/12/2018 toate clădirile noi ce vor fi ocupate de autorități publice vor fi clădiri cu consum energetic aproape zero (nZEB), iar începând cu data de 31/12/2020 toate clădirile noi vor fi nZEB [81]. Mai mult, directiva stabilește obligativitatea standardizării, la nivel de stat membru, a nivelurilor minime de performanță energetică a clădirilor în funcție de costul optim de investit.

## **2.4. Caracteristici ale clădirii pentru necesarul de energie termică**

Datele de intrare: pentru evaluarea necesarului de energie trebuie să se țină cont de parametrii climatului exterior, clasificarea clădirilor în raport cu poziția în mediul construit și caracteristicile materialelor de construire din care rezultă parametrii de performanță ai clădirii.

Pentru clasificarea clădirilor în raport cu poziția în mediul construit se ține seama de: amplasament (acces, vecinătăți, însorire/umbrire, expunere la vânt, condiționări impuse de peisajul natural ș.a.); orientarea în raport cu punctele cardinale și față de vântul dominant și poziția față de vecinătăți (clădiri, obstacole naturale etc.), astfel încât soluțiile ulterioare să țină seama de toți factorii externi.

Caracteristicile materialelor de construcție utilizate la evaluarea performanțelor energetice ale clădirilor sunt: i) conductivitatea termică; ii) căldura specifică masică; și iii) factorul de permeabilitate la vapori de apă/rezistență la vapori de apă [91].

În calculul necesarului de energie se definesc caracteristicile dimensionale și cele higrotermice ca date de plecare, apoi se determină fiecare sub-componentă a necesarului de căldură, respectiv necesarul de energie pentru răcire, încălzire și pentru prepararea apei calde menajere.

### Caracteristicile dimensionale ale clădirilor:

*Aria anvelopei clădirii (A):* reprezintă suma tuturor ariilor elementelor de construcție perimetrice ale clădirii, prin care are loc transfer termic. Se determina, având în vedere exclusiv suprafețele interioare ale elementelor de construcție interioară și se calculează cu ecuația (2.1).

$$A = \sum A_j \quad (2.1)$$

unde  $A_j$  reprezintă ariile elementelor de construcție care intră în alcătuirea anvelopei clădirii;

De exemplu, în situația unui apartament de bloc aria (A) este determinată prin însumarea suprafețelor încăperilor fără a considera elementele de anvelopa (pereți, planșee, etc.):

$$A = A_{bucatarie} + A_{dormitor\ 1} + A_{dormitor\ 2} + A_{baie} + A_{hol} \quad (2.2)$$

*Volumul clădirii (V):* reprezintă volumul delimitat de suprafețele perimetrice care alcătuiesc anvelopa clădirii (ecuația. 2.3.). Ca principiu general, suprafețele elementelor de construcție perimetrice care alcătuiesc împreună anvelopa clădirii, se delimitează de mediile exterioare prin fețele interioare ale elementelor de construcție.

$$V = \sum V_j \quad (2.3)$$

unde  $V_j$  reprezintă volumele elementelor de construcție care intră în alcătuirea anvelopei clădirii;

De exemplu, în situația aceluiași apartament de bloc, volumul clădirii (V), este determinat prin însumarea volumelor încăperilor fără a considera elementele de anvelopa (pereți, planșee, etc.):

$$V = V_{bucatarie} + V_{dormitor\ 1} + V_{dormitor\ 2} + V_{baie} + V_{hol} \quad (2.4)$$

### Caracteristicile higrotermice ale elementelor clădirii:

Parametrii de performanță caracteristici elementelor de anvelopă, necesari pentru evaluarea performanței energetice a clădirilor sunt:

- Rezistența termică specifică unidirecțională aferentă ariei materialelor componente
- Rezistența termică specifică, corectată
- Rezistență termică specifică medie, pentru fiecare tip de element de construcție perimetral, pe ansamblul clădirii;
- Rezistență termică corectată, medie, a anvelopei clădirii;
- Coeficientul de transfer termic unidirecțional
- Coeficientul de transfer termic corectat cu efectul punților termice
- Coeficientul mediu de transfer termic corectat cu efectul punților termice, a anvelopei clădirii,

fiind determinate cu ecuațiile (2.5) și (2.6) [74]:

$$U' = \frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{\sum(\psi * l)}{A_j} + \frac{\sum \chi}{A_j} \quad (2.5)$$

Unde:  $U'$  = Coeficientul de transfer termic corectat cu efectul punților termice;  $R'$  = Rezistență termică specifică corectată;  $R$  = Rezistența termică specifică unidirecțională aferentă ariei  $A_j$ ;  $A_j$  = aria materialelor componente din cadrul stratului cvasi-omogen/omogen, măsurate în planul stratului (în elevație);  $l$  = lungimea punților liniare de același fel, din cadrul suprafeței  $A_j$ ;  $\psi$  = coeficient specific liniar;  $\chi$  = coeficientul punctual de transfer termic.

$$R'_m = \frac{1}{U'_m} = \frac{\sum A_j}{\sum (A_j \cdot U'_j)} \quad (2.6)$$

Unde:  $R'_m$  = Rezistență termică specifică medie;  $U'_m$  = Coeficientul mediu de transfer termic, calculat în baza valorii  $U'$  prin mediere temporală;  $A_j$  = Ariile materialelor componente din cadrul stratului cvasi-omogen, măsurate în planul stratului (în elevație);  $U'_j$  = coeficienții de transfer termic corecțai aferenți suprafețelor  $A_j$ .

În completare pot fi utilizați și alți parametri, precum: indicele de inerție termică, rezistența la difuzia vaporilor de apă, coeficienții de inerție termică (amortizare, defazaj), coeficientul de absorbție a suprafeței corelat cu culoarea și starea suprafeței, factorul optic pentru vitraje, raportul suprafeței vitrate etc.

Caracteristicile dimensionale aria și volumul clădirii sunt utilizate ca date de referință pentru compararea consumurilor diferitelor clădiri sau subcomponente ale clădirii, iar caracteristicile higrotermice sunt utilizate pentru determinarea proprietăților de izolare ale anvelopei clădirii fiind considerate date de intrare pentru determinarea coeficientului global de izolare termică al unei clădiri, respectiv pentru determinarea necesarului de energie termică pentru încălzirea/răcirea construcțiilor.

## 2.5. Metode de stabilire a necesarului de energie termică la nivel de comunitate

Necesarul de energie termică se poate determina analitic, urmărind standardele naționale și internaționale privind calculul pierderilor de energie termică sau prin metoda calculului real folosind datele de la utilizatori sau producătorul de energie termică.

### 2.5.1. Metoda analitică

Modul de calcul standard constă în dimensionarea necesarului de energie termică în funcție de pierderile energetice aferente fiecărei componente a clădirii și de temperatura exterioară determinată, conform standard, calculând numărul de grade zile. Pornind de la acest principiu, necesarul anual de energie se calculează pentru încălzire, răcire și apă caldă menajeră (ACM).

#### Necesarul de energie pentru încălzire:

Necesarul anual de energie pentru încălzire aferent unui  $m^3$  de volum interior, se calculează cu relația (2.7.) [74]:

$$Q_{inc} = \frac{24}{1000} C \cdot N_{12}^{\theta_i} \cdot G \cdot (Q_i + Q_s) \quad (2.7)$$

Unde:  $Q_{inc}$  = necesarul anual de căldură;  $G$  = coeficientul global de izolare termică a clădirii;  $C$  = coeficientul de corecție;  $N_{12}^{\theta_i}$  = numărul anual de grade - zile de calcul, corespunzător localității unde este amplasată clădirea, calculat pentru temperatura interioară medie în perioada de încălzire ( $i$ ) și pentru temperatura exterioară medie zilnică care marchează începerea și oprirea încălzirii ( $i = 12^\circ C$ );  $Q_i$  = aportul util de căldură rezultat din locuirea clădirii;  $Q_s$  = aportul util de căldură provenită din radiația solară.

#### Necesarul de energie pentru răcire:

Necesarul de frig (sensibil), al unei incinte se determină cu relația (2.8) [74]:

$$\dot{Q}_F \cong \frac{A_E}{R} [\theta_{i0} - \theta_{eRC_j}(t)] + 1,1 \cdot n_a(t) \cdot \dot{V}_a \cdot \rho_a \cdot c_{pa} [\theta_{i0} - \theta_{e_j}(t)] + a_s(t) \cdot A_{loc} \quad (2.8)$$

Unde:  $\dot{Q}_F$  = necesarul de răcire/frig;  $A_E$  = aria elementelor de construcție exterioare opace și transparente (C107/2005);  $A_{loc}$  = aria suprafeței locuibile a spațiului ocupat;  $\dot{V}_a$  = volumul util al

încăperii;  $n_a(t)$  = rata de ventilare a spațiului ocupat; reprezintă temperatura interioară de confort;  $\theta_{i_0}$  = temperatura exterioară;  $\theta_{e_j}(t)$  = temperatura exterioară de referință a elementelor exterioare;  $a_s(t)$  = degajările sensibile de căldură liberă;  $j$  = indice care specifică luna din sezonul cald.

Durata procesului de răcire se determină ca urmare a analizei variației temperaturii aerului interior în spații ocupate în lipsa dotării cu instalații/sisteme de răcire. Ecuația (2.9.) conduce la determinarea intervalului zilnic de funcționare a instalației/sistemului de răcire.

$$\theta_a(t) = \theta_{i_0} \quad (2.9)$$

În funcție de intervalul de funcționare se poate determina necesarul de răcire zilnic în luna „j” ( $Q_{F-ziuaj}$ ) din spațiul ocupat aplicând relația (2.10.).

$$Q_{C-ziuaj} = 0,001 \cdot \bar{Q}_j \cdot D_{Rj} \quad (2.10)$$

Unde  $\bar{Q}_j$  = valoarea medie a necesarului sensibil de frig pe durata de climatizare, din cursul unei zile;  $D_{Rj}$  = durata intervalului de răcire.

Necesarul de frig în luna „j” ( $Q_{C-lunaj}$ ) și necesarul de frig anual ( $Q_{Răcire}$ ) se determină prin utilizarea ecuației (2.11.), respectiv (2.12.).

$$Q_{C-lunaj} = N_{ziua-j} \cdot Q_{C-ziuaj} \quad (2.11)$$

$$Q_{Răcire} = \sum_j Q_{C-lunaj} \quad (2.12)$$

Unde:  $N_{ziua-j}$  = numărul de zile senine din luna „j”.

### Necesarul de energie pentru preparare apă caldă menajeră

Necesarul de energie termică pentru prepararea ACM poate fi determinat utilizând metode de calcul standardizate (ex. EN 806 sau ASHRAE) pentru cuantificarea volumului necesar de apă plecând de la un set de informații primare (ex. numărul de utilizatori) și aplicând ecuația (2.13.).

$$Q_{ACM} = V_{ACM} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{AC} - t_{AR}) + Q_{pierderi} \quad (2.13)$$

Unde  $Q_{ACM}$  = energia necesară pentru prepararea ACM;  $V_{ACM}$  = volumul de ACM,  $t_{AC}$  = temperatura medie a ACM;  $t_{AR}$  = temperatura medie (anuală) a apei reci (de încălzit);  $Q_{pierderi}$  = suma pierderilor de căldură generate de instalație;  $\rho$  = densitatea apei la temperatura de calcul,  $c$  = căldură specifică masică a apei la temperatura de calcul.

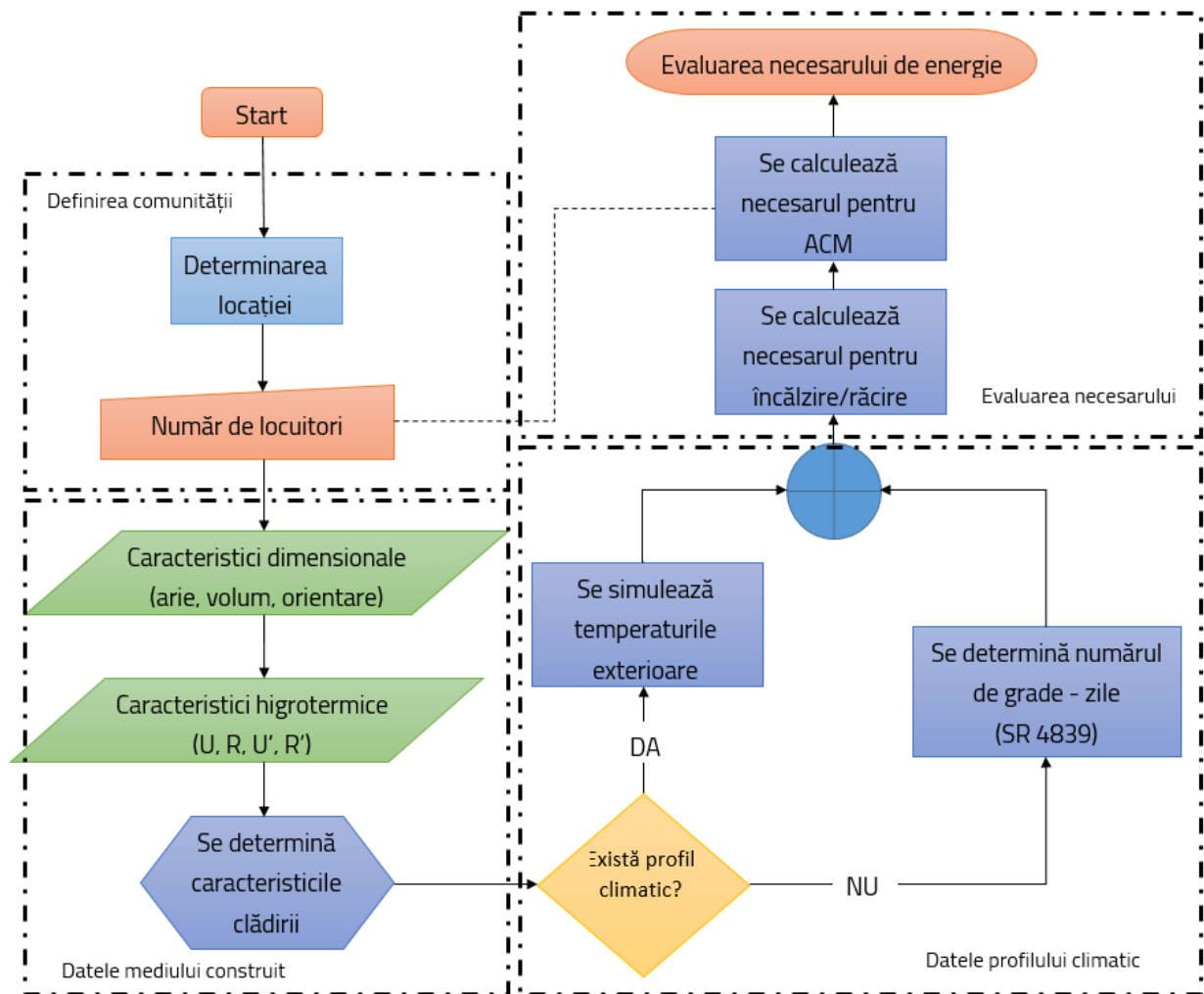


Figura 2.3. Etapele de lucru pentru determinarea analitică a necesarului de energie

În figura 2.3. sunt arătate etapele de lucru pornind de la definirea comunității prin determinarea locației, a limitelor acesteia și a numărului de locuitori deservit, rezultând date de intrare pentru următoarea etapă, respectiv datele specifice mediului construit (dimensionale și higrotermice), în baza cărora se calculează caracteristicile clădirilor.

În următoarea etapă, funcție de instrumentele disponibile cu privire la datele meteorologice se determină un profil climatic cu privire la simularea temperaturilor exterioare și a perioadelor critice. Ulterior, în baza profilului climatic, se pot determina necesarul de energie pentru încălzire, răcire și apă caldă menajeră.

### Programe de calcul

Pentru determinarea necesarului de energie termică, în formă analitică, au fost dezvoltate, folosind ecuațiile descrise anterior, softuri specializate (ex. Doseet-PEC sau TRNSYS), cu care, plecând de la un set de informații preliminare (ex. suprafețele împărțite pe sub-componente, spații vitrate, orientare față de punctele cardinale, grosimi ale structurii anvelopei clădirii și numărul de locuitori) se determină necesarul de energie termică.

Programul Doseet-PEC este produs în România de societatea Doseet Impex SRL, Timișoara și transpune întreaga metodologie MC001/2006 pentru eliberarea certificatelor de performanță ale clădirilor, în conformitate cu standardul românesc.



Un alt program, utilizat la nivel internațional, este programul TRNSYS Studio 17 (Building Simulation), care în baza unei diagrame proiectate (ex. figura 2.7.) poate determina necesarul energetic al clădirii. El necesită date de intrare, după cum urmează:

- (1) datele meteorologice: temperatura exterioară, radiația globală în plan orizontal, umiditatea relativă a aerului, viteză și direcția vântului, determinate prin măsurări directe de la o stație meteo din amplasament (preferabil cu un istoric de cel puțin 3 ani), sau prin interpolare și interpretare utilizând programului Meteororm sau similar.
- (2) parametrii calitativi: destinația și temperatura interioară a încăperii, orientarea față de punctele cardinale, numărul de schimburi de aer, parametri impuși de operator/proiectant cu respectarea condițiilor minimale de confort.
- (3) parametrii dimensionali ai clădirii: aria și volumul interior rezultat.
- (4) scenariile de calcul: sunt definite în funcție de tipul și dimensiunea anvelopei (pereți, ferestre, acoperiș etc.) astfel încât să poată fi generate mai multe soluții tehnice ale izolației/anvelopei (de la situația cea mai dezavantajoasă până la situații ideale).
- (5) profilul consumului de ACM: în funcție de comportamentul utilizatorilor și de normele de igienă.

Introducând informațiile cu privire la datele de intrare, utilizând același principiu definit prin relațiile aferente calculului analitic, folosind programul Trnsys Studio 17 pot fi realizate simulări ale necesarului energetic la intervale presetate (de regulă orare), pe întreaga perioadă a anului.

Prin comparația celor două softuri (Daset-PEC vs. TRNSYS) putem constata faptul că softul Daset-PEC este dedicat emiterii de certificate energetice armonizând legislația și standardele românești limitându-se la posibilitatea calculării necesarului de căldură la nivel de clădire (individuală sau multi-familială) ceea ce îngreunează procesul de evaluare, dar are avantajul că, în lipsa datelor privind profilul meteorologic, poate estima un profil lunar/anual al necesarului de energie prin utilizarea metodei grade-zile descrisă de standardul SR 4839:2014.

Pe de altă parte softul TRNSYS, deși nu este dedicat pieței românești (sau unei locații în general), are avantajul că pornește de la date meteorologice reale (acolo unde există) sau estimate cu programe specializate astfel încât, cumulat cu posibilitățile simulării caracteristicilor mediului construit în ansamblul său, poate genera predicții mult mai exacte privind necesarul de energie.

Generarea profilului climatic al locației analizate, simularea mediului construit și predicția privind consumul energetic al acestuia realizate în programul TRNSYS aduce un avantaj major datorită capacității de sinteză și analiză în vederea renovării/izolării optimizate a clădirilor.

Oricare dintre modalitățile de evaluare a necesarului de energie termică la nivel de comunitate aplicând metoda analitică sau utilizând programele de calcul descrise anterior este foarte greu de estimat pentru construcții existente, deoarece datele de intrare în detaliu și cu acuratețea necesară sunt foarte dificil de obținut. Pe de altă parte, definirea unei limite a comunității la nivel de locuința/clădire/bloc, poate determina un studiu eficient.

Prin compararea celor două programe specializate de dimensionare a necesarului de energie, constatăm că Daset PEC este mai util pentru generarea de certificate de performanță energetică în timp ce softul TRNSYS este util proiectanților.

### **2.5.2. Metoda consumului real**

Necesarul de energie termică poate rezulta din calculul performanței energetice a sistemelor prin intermediul programelor specializate (TRNSYS, DOSET-PEC etc.), dar întotdeauna reconstrucția orară/lunară/anuală trebuie corectată cu informațiile provenite de la utilizatori [93], determinându-se consumul energetic raportat la suprafețele echivalente deservite de mediul construit în funcție de specificul acestora.

Spre deosebire de metoda analitică, cea a consumului real se bazează pe culegerea datelor reale, raportate de furnizori sau culese direct în teren din sistemul de contorizare aferent fiecărei locuințe din cadrul comunității studiate.

Colectarea datelor pornește de la identificarea caracteristicilor constructive și dimensionale ale fiecărei locuințe/clădiri, date ce pot fi culese de la serviciile locale care administrează spațiul locativ existent sau din sisteme GIS acolo unde există date suficiente. În oricare situație, datele relevante sunt tipul și destinația construcției, materialul din care sunt construite, nivelul de izolare și datele privind locația (adresa, proprietar, număr de utilizatori, etc.)

Analiza datelor la nivel de comunitate trebuie interpretată în funcție de destinația clădirii (de locuit, unitate de învățământ, spital, administrativ, etc.), în funcție de materialul din care sunt construite (beton, cărămidă, etc.) dar cel mai important aspect este generat de gradul de izolare fiind definite trei categorii (clădiri renovate, parțial renovate și nerenovate).

În Municipiul Odorheiu Secuiesc (Cartierul Beclean) a fost analizat un grup 604 locuințe multifamiliale (apartamente de bloc) construite atât din cărămidă cât și din beton, cu suprafețe cuprinse între 24 și 120 m<sup>2</sup> și grade de izolare diferite în funcție de calitatea izolării pereților și a ferestrelor.

Interpretarea datelor se realizează comparând consumul specific anual (așa cum este definit de certificatul de performanță energetică) raportat la suprafața locuințelor analizate.

În final a fost trasată o diagramă de calcul (figura 2.11.) a necesarului de energie termică la nivel de comunitate bazată pe măsurători din teren pornind de la definirea locației și definirea tipurilor de construcții deservite, iar funcție de informațiile disponibile (facturi individuale sau ale comunității) se simulează și prezice necesarul de energie termică la nivel de comunitate.

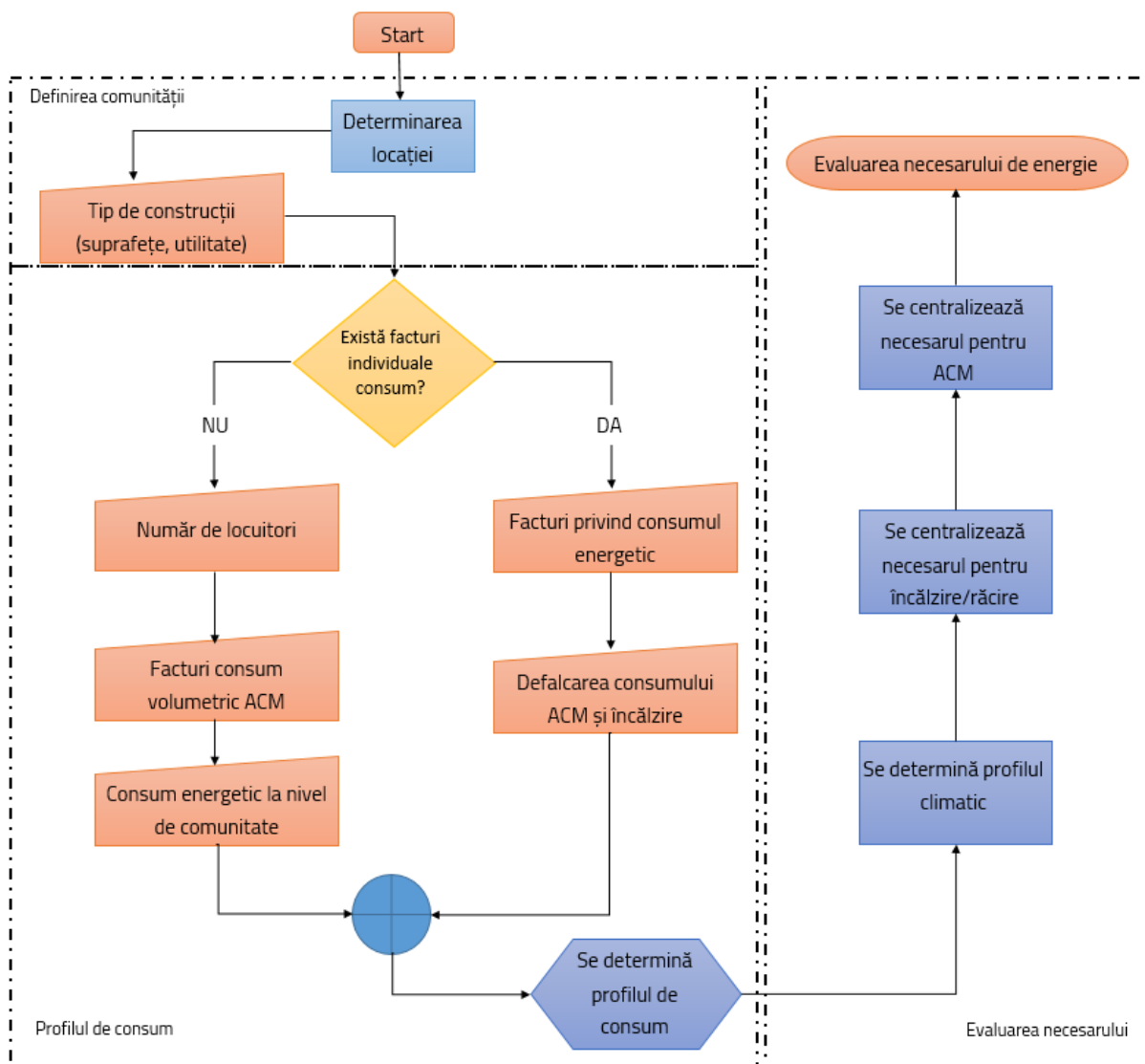


Figura 2.11. Etapele pentru determinarea necesarului de energie bazat pe consumul măsurat

Prin comparație, față de etapele calcului analitic privind necesarul de energie termică în comunitate (prezentate în figura 2.3.), etapele pentru simularea necesarului bazat pe date reale din teren (figura 2.11) se bazează strict pe date culese de la utilizatori și nu este influențată de profilul climatic sau de determinarea numărului de grade-zile.

Pornind de la etapa de definire a comunității și a caracteristicilor mediului construit aferent, în funcție de datele disponibile, se colectează date aferente consumului înregistrat la nivel de comunitate sau la nivel de locuință rezultând un profil de consum ce poate fi utilizat la nivel de comunitate pentru determinarea profilului climatic, simularea necesarului de căldură a celui de ACM și în final determinarea necesarului de energie pentru comunitatea studiată.

### 2.5.3. Compararea metodelor prin studiu de caz

Studiul are ca scop compararea rezultatelor obținute analitic cu cele obținute prin calcul cu datele reale colectate de la utilizatori (facturile de energie). Metodă de comparare a rezultatelor este aplicată pe un studiu de caz, considerând o comunitate dintr-o zona muntoasă, cu ierni severe și veri blânde (Mun. Odorheiu Secuiesc, Jud. Harghita, România), analizând trei tipuri de clădiri: locuințe colective

(apartamente de bloc), locuințe individuale și clădiri administrative pentru care au fost arătate, ca exemplu, atât construcții reabilitate sau noi, cât și clădiri nereabilitate din punct de vedere termic.

Pentru studiul efectuat au fost alese construcții care să se încadreze în media generală a consumurilor, fiind considerate trei categorii reprezentative: construcțiile colective (apartamentele din blocurile de locuințe), construcțiile individuale (case de locuit) și clădirile administrative.

Un aspect deosebit de important în cazul construcțiilor este reprezentat de gradul de izolare termică a construcției, fiind necesară separarea cazurilor și în funcție de gradul de reabilitare termică, după cum urmează:

- Cazul A1: o locuință colectivă nereabilitată (NR), având o suprafață utilă de 57,0 m<sup>2</sup>;
- Cazul A2: o locuință colectivă reabilitată (R), având o suprafață utilă de 86,7 m<sup>2</sup>;
- Cazul B1: o locuință individuală nereabilitată (NR), având o suprafață utilă de 79,5 m<sup>2</sup>;
- Cazul B2: o locuință individuală reabilitată (R), având o suprafață utilă de 172,34 m<sup>2</sup>;
- Cazul C: o clădire administrativă (NR), având o suprafață utilă de 1413,78 m<sup>2</sup>;

## Rezultate

Rezultatele arată că reabilitările termice sunt foarte eficiente pentru locuințele individuale, conducând la beneficii de până la 260%, în timp ce aceste beneficii se rezumă la maxim 15% în cazul apartamentelor din locuințele colective. Aceste rezultate, ne conduc către calitatea izolării (material și grosime) utilizate pentru reabilitare, care în mod evident, trebuie realizată mult mai temeinic pentru locuințele individuale. Suplimentar, locuințele individuale au suprafață mai mare expusă climatului, de aceea reducerea pierderilor de energie termică are un impact semnificativ în comparație cu apartamentele din locuințele colective.

În situația clădirilor individuale reabilitate, energia specifică anuală consumată este mai mică decât în cazul locuințelor colective datorită raportului dintre suprafața locuită și numărul de locuitori, dovedindu-se că există o serie de spații care nu sunt întotdeauna utilizate la capacitate dar care nu trebuie să îndeplinească ambient de confort (ex. anexe tehnice, casa scării, etc.)

*Tabelul 2.9. Compararea rezultatelor privind consumul construcțiilor analizate.*

		Necesar total de energie (Calculat) [kWh/m <sup>2</sup> ]	Consumul total de energie (Măsurat) [kWh/m <sup>2</sup> ]
Locuințe colective	Nereabilitate (A1)	190,06	150,24
	Reabilitate (A2)	153,67	128,52
Locuințe individuale	Nereabilitate (B1)	392,63	312,37
	Reabilitate (B2)	103,82	86,83
Clădire administrativă	Nereabilitate (C)	313,41	224,29

În analiza comparativă, figura 2.16 și tabelul 2.9., se evidențiază în mod cert că evaluările necesarului (realizate conform standard cu programe de specialitate) sunt întotdeauna mai mari decât datele reale privind consumul (înregistrate prin facturi).

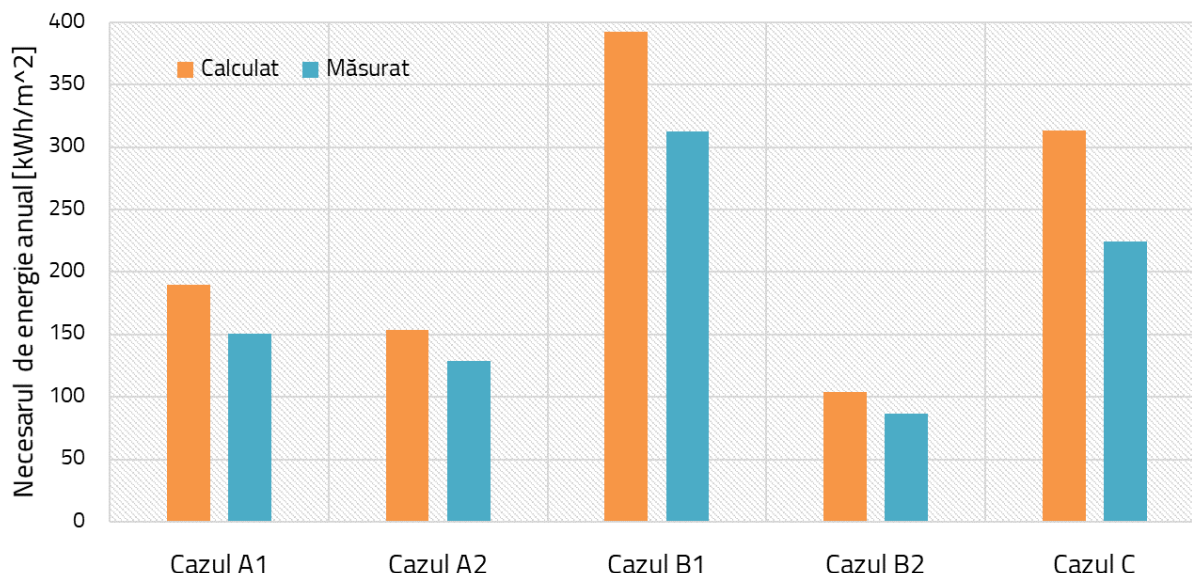


Figura 2.15. Compararea rezultatelor privind consumul construcțiilor analizate.

Este mai mult decât evidentă abordarea „acoperitoare” (mai mare) a standardelor, însă marja de eroare este între 15% și 22% în cazul locuințelor, iar în cazul clădirilor administrative depășește 25%. Astfel că, datele de proiectare privind optimizarea și reabilitarea termică a construcțiilor precum și proiectarea sistemelor de conversie a energiilor regenerabile, trebuie să se bazeze pe informații reale, colectate în teren și adaptate la necesitățile reale ale utilizatorilor, generând astfel investiții fezabile și suportabile.

## 2.6. Concluzii și contribuții

În urma studiului necesarului de energie termică în mediul construit format din locuințe colective, individuale și administrative au rezultat următoarele **concluzii**:

- În calculul necesarului de energie termică din mediul construit, la nivel de comunitate, este necesară definirea comunității și a sub-comunităților aferente, a caracteristicilor mediului construit din comunitate și analiza performanțelor energetice ale acestuia.
- Clădirile eficiente energetic (nZEB) trebuie să îndeplinească doua standarde: nivelul de energie necesară (kWh/m<sup>2</sup>) și procentul de energie din surse regenerabile.
- Nivelul de performanță energetică a clădirilor eficiente energetic și procentul de energie din regenerabile diferă de la o țară la alta, funcție de poziția geografică, climat, putere economică și legislație internă.
- Indicatorii de performanță energetică cuantificabili în unități de energie primară sunt interpretați diferiți de fiecare Stat Membru al Uniunii Europene. Cadrul legislativ și documentele suport nu definesc în mod clar termenii de energie primară în raport de energia finală și nu este o definiție a energiei produsă din surse de energii regenerabile raportată la energia primară. În concluzie un concept unitar trebuie definit astfel încât să se poată formula indicatori energetici clari mențiți să eficientizeze implementarea strategiilor pentru mediul construit înaintea termenelor limita (2019/2021).
- Evaluarea necesarului de energie se poate face analitic, prin: (i) ecuații existente în literatură sau softuri și (ii) prin determinarea consumului real bazat pe culegerea datelor din facturile de energie.

- f) Studiul comparativ efectuat (softuri vs. consum real) pentru un caz concret (Municipiul Odorheiu Secuiesc, jud. Harghita, Romania) a evidențiat valori mai mici, între 15% și 22% în cazul locuințelor și peste 25% în cazul clădirilor administrative, pentru consumul real bazat pe date culese.
- g) Recomandarea ca în dimensionarea sistemului solar-termic să se aibă în vedere datele reale, pentru a se evita supra sau subdimensionarea acestuia.

Principalele **contribuții** se referă la:

- a) Identificarea parametrilor necesari definirii unei comunități și a sub-comunităților aferente.
- b) Analiza detaliată asupra conceptului de performanță energetică a clădirilor și modul lui de aplicare în țările Uniunii Europene.
- c) Analiza și interpretarea conceptelor de necesar net de energie, energie livrată și energie primară în baza cărora diverse state și-au stabilit nivelul de performanță energetică a clădirilor.
- d) Studiul comparativ al celor două metode de calcul a necesarului de energie termică, pe cale analitică (ecuații sau softuri) și prin culegerea de date reale pe bază de facturi.
- e) Utilizarea în studiul efectuat a două softuri reprezentative: Doset-PEC produs de societatea Doset Impex SRL Timișoara pentru analiza performanțelor energetice și conformitatea cu standardul românesc pentru certificarea clădirilor; TRNSYS Studio 17 (Building Solution) utilizat la nivel internațional atât pentru certificarea energetică a clădirilor cât și pentru aducerea acestora la nivelul de performanță dorit.
- f) Obținerea de recomandări utile proiectanților de sisteme solar-termice privind asigurarea procentului de energie termică din conversia energiei solare.

## CAPITOLUL 3: EVALUAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC AL UNEI COMUNITĂȚI

### 3.1. Surse de energii regenerabile pentru producerea de energie termică

Potențialul energetic al unei comunități este definit de potențialul surselor de energie regenerabile disponibile în comunitatea respectivă.

Principalele surse de energie regenerabilă dintr-o comunitate pot fi: energia solară, energia eoliană, energia geotermală, energia din biomasă, energia hidro. Prin conversia lor se obține energie termică și/sau energie electrică folosind sisteme de conversie adecvate.

Pentru producerea de energie termică se utilizează de regulă energia solară, energia geotermală și energia din biomasă, iar pentru producerea de energie electrică se utilizează de regulă energia solară, energia eoliană, energia hidro și biomasă.

Sistemele de energie regenerabilă (SER) pentru conversia energiilor regenerabile în energie termică și electrică se pot amplasa atât în interiorul comunităților (pe clădiri, lângă clădiri, pe terenuri neutilizate) cât și în exteriorul acestora (al mediului construit).

În studiul efectuat pentru producerea de energie termică se iau în considerare energia solară și biomasă, prin disponibilitatea și variabilitatea (orară, zilnică, lunară, anuală) energiei solare și necesarul de biomasă lemnoasă (deșeuri provenite din prelucrarea lemnului, deșeuri forestiere, biomasă cultivată).

**Sistemul de conversie este proiectat pentru utilizarea integrală a potențialului de energie solară și completarea acestuia cu energia necesară obținută prin arderea biomasei lemnoase.**

Potențialul energetic cumulat al celor două surse de producere a energiei termice trebuie să asigure necesarul zilnic, lunar, anual de energie termică în comunitate.

### 3.2. Potențialului energetic solar disponibil

**Energia solară** este definită prin energia radiației solare ca flux energetic care pornește uniform de la soare, în toate direcțiile, astfel că suprafața pământului primește zilnic un flux semnificativ de energie solară. Puterea radiației solare este definită de distanța dintre pământ și soare, de difuzia atmosferică și de condițiile climatice.

Fluxul de energie primită de la soare, măsurat la straturile superioare ale atmosferei terestre, perpendicular față de direcția razelor solare, este definit de constanta solară ( $I_{cs}$ ), valoarea acesteia fiind  $I_{cs} = 1350 \text{ W/m}^2$ .

La intrarea în atmosfera terestră, radiația solară interacționează cu mediul ambiant (nori, gaz, praf, etc.) divizându-se în: **a) radiație directă (B)** care pătrunde direct pe suprafața pământului; **b) radiația difuză (D)** ca radiație indirectă captată pe suprafața pământului; **c) radiația reflectată de atmosferă** înapoi în spațiul cosmic, așa cum este prezentat schematic în figura 3.2.

**Radiația globală (G)** reprezintă suma dintre radiația directă și radiația difuză așa cum este prezentat în ecuația 3.1.

$$G=B+D \quad (3.1)$$

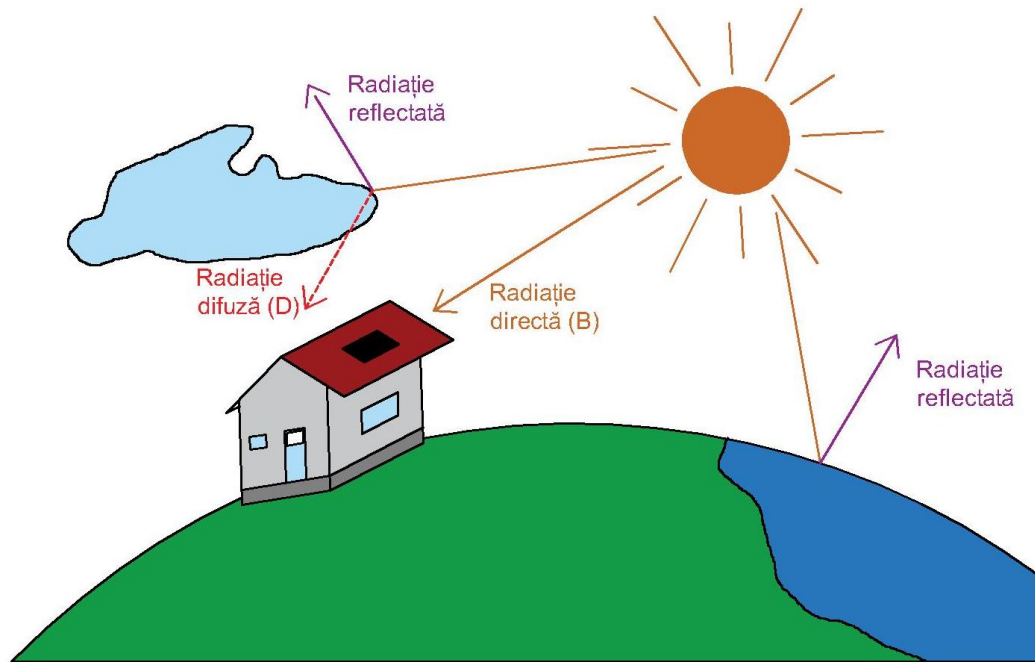


Figura 3.2. Interacțiunea radiației solare cu atmosfera și suprafață Pământului

Potențialul energiei solare depinde în mare măsură de condițiile meteorologice, definindu-se ca referință *cerul senin*, situație teoretică în care se poate înregistra 100% radiație directă și *cerul înnorat*, situația teoretică în care se poate înregistra până la 80 % radiație difuză din radiația globală. Chiar și într-o zi însorită, radiația difuză și cea directă pot varia semnificativ, în mare datorită poluării și a prafului din atmosfera, înregistrându-se valori de 40% radiație difuză și 60% radiație directă [94].

Identificarea potențialului energetic solar se poate realiza prin mai multe metode:

- modelarea matematică pentru determinarea energiei solare recepționate
- metoda utilizării de software-uri specializate care adună datele meteorologice de la mai multe stații de meteo de referință, iar în funcție de locația selectată interpolează date cu un grad ridicat de încredere.
- determinarea potențialului solar prin culegerea și interpretarea de date de la față locului, ținând seama de un istoric de minim un an, dar recomandabil de mai mulți ani.

### 3.2.1. Evaluarea potențialului disponibil prin simulare

În evaluarea prin prima metodă este necesară utilizarea unui model matematic de calcul al radiației solare, caz în care radiația directă sau globală se exprimă funcție de latitudinea ( $\varphi$ ) la care se află comunitatea, ziua din an ( $n$ ), unghiul de declinație al Soarelui ( $\delta$  -relația 3.2.), timpul solar ( $t_s$ ), unghiul solar ( $\omega$  – relația 3.3), unghiul altitudinal al soarelui ( $\alpha$  – relația 3.4) sau zenit ( $\theta$  – relația 3.5), unghiul azimutal ( $\psi$  – relația 3.6), constanta solară ( $I_{sc}=1.367 \text{ W/m}^2$ ), radiația solară extraterestră ( $I_0$  – relația 3.7), mărimi reprezentate în figura 3.3.

Unghiul de declinație al Soarelui este egal cu zero ( $\delta=0^\circ$ ) la echinocții și variază între  $-23,24^\circ$  la solstițiul de iarnă și  $+23,24^\circ$  la solstițiul de vară. Acesta poate fi estimat pentru o zi data ( $n$ ), unde  $n=1$  corespunde zilei de 1 Ianuarie, utilizând ecuația (3.2.) [96].



$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ \frac{360}{365} (248 + n) \right] \approx 23,45 \cdot \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 80) \right] \text{ [}^\circ \text{]} \quad (3.2.)$$

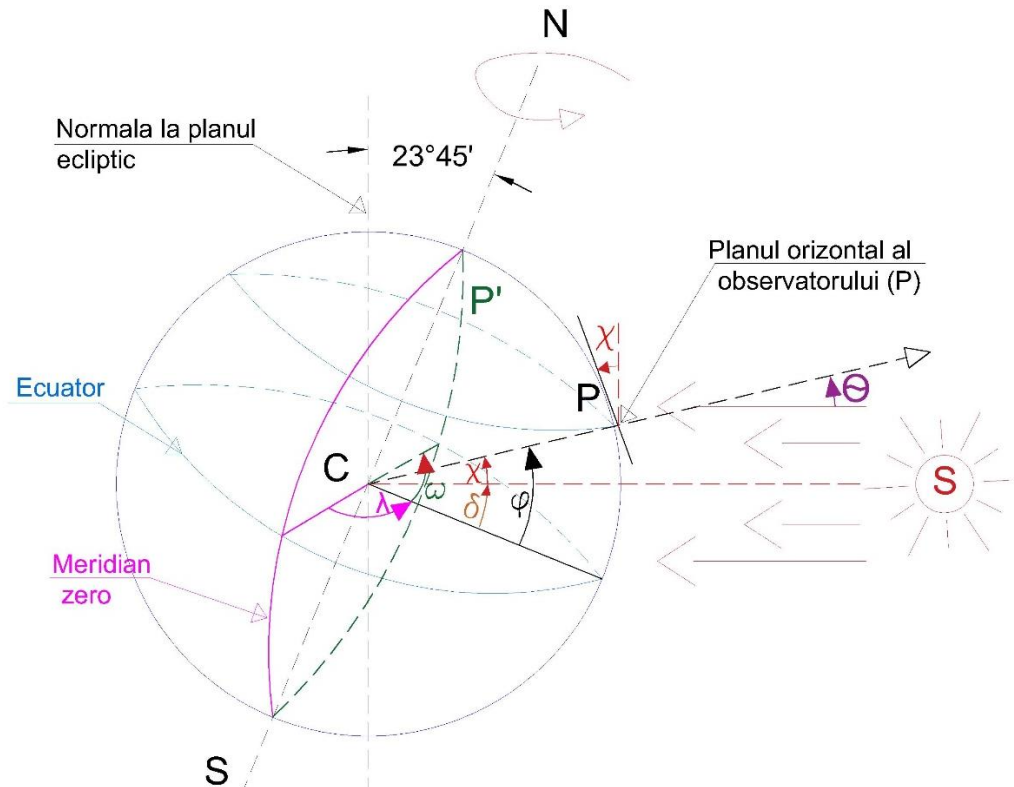


Figura 3.3. Definirea unghiurilor față de planul orizontal al observatorului

Unghiul orar al Soarelui ( $\omega$ ) care măsoară diferența dintre meridianul observatorului în raport de poziția acestuia de la amiază (ex. mișcarea unghiulară a meridianului observatorului la amiază (P) și cea de după amiază (P')), se determină utilizând ecuația 3.3, după cum urmează:

$$\omega = (12 - t_s) \cdot 15 \text{ [}^\circ \text{]} \quad (3.3.)$$

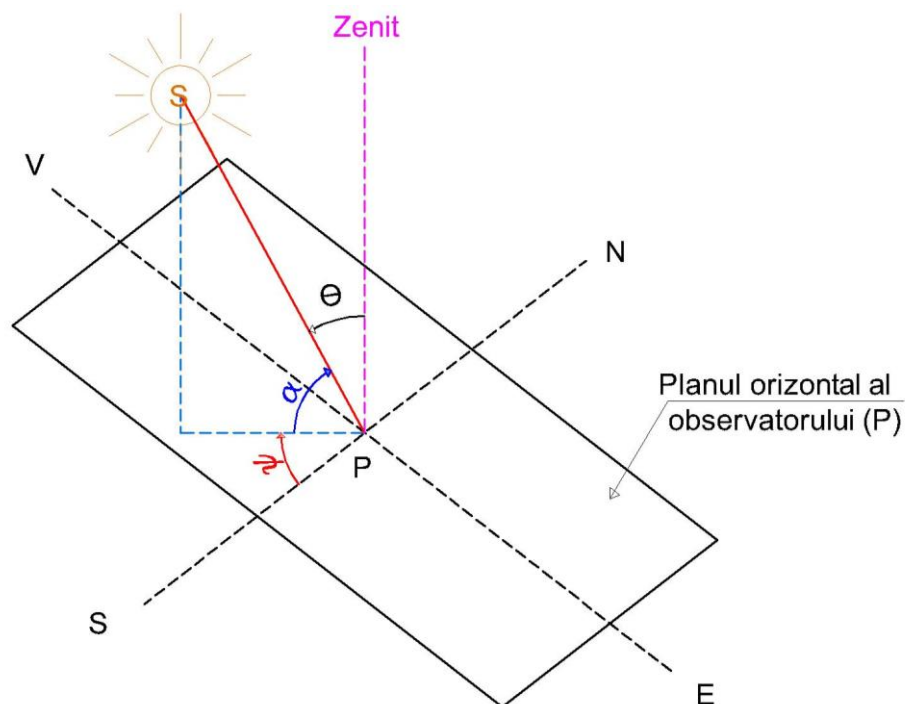


Figura 3.4. Determinarea unghiurilor: altitudinea solară ( $\alpha$ ), azimutul solar ( $\psi$ ) și față de zenit ( $\theta$ )

Unghiul altitudinal al soarelui ( $\alpha$ ) se calculează cu ecuația 3.4. Unghiul variază de la zero la răsărit și apus la valoarea maximă care are loc la amiază ( $t_s=12$ ) când dreapta observator-soare se află în planul meridian al locului. Un exemplu de variație este dat în figura 3.5 pentru comunitatea analizată – Odorheiu Secuiesc.

$$\alpha = \arcsin(\cos(\omega) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)) \text{ [}^\circ\text{]} \quad (3.4.)$$

$$\theta = 90 - \alpha \text{ [}^\circ\text{]} \quad (3.5.)$$

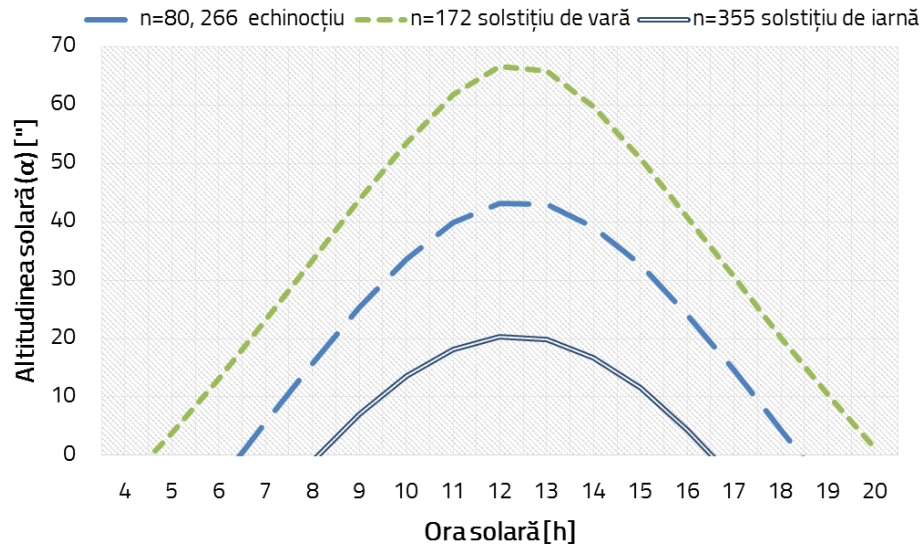


Figura 3.5. Variația unghiului altitudinal în timpul echinocțiului și al solstițiilor pentru Odorheiu Secuiesc

Unghiul azimutal ( $\psi$  - relația 3.6) format de proiecția razei solare în planul orizontal al locului cu direcția Nord-Sud, măsurat de la axa PS cu sens pozitiv trigonometric are valoare zero la amiază, valori maxime pozitive la răsărit și valori maxime negative la apus. Exemplul de variație pentru comunitatea Odorheiu Secuiesc este dat în figura 3.6.

$$\psi = \text{sgn}(\omega) \cdot \arccos\left(\frac{\cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \sin(\varphi) - \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi)}{\cos(\alpha)}\right) \text{ [}^\circ\text{]} \quad (3.6.)$$

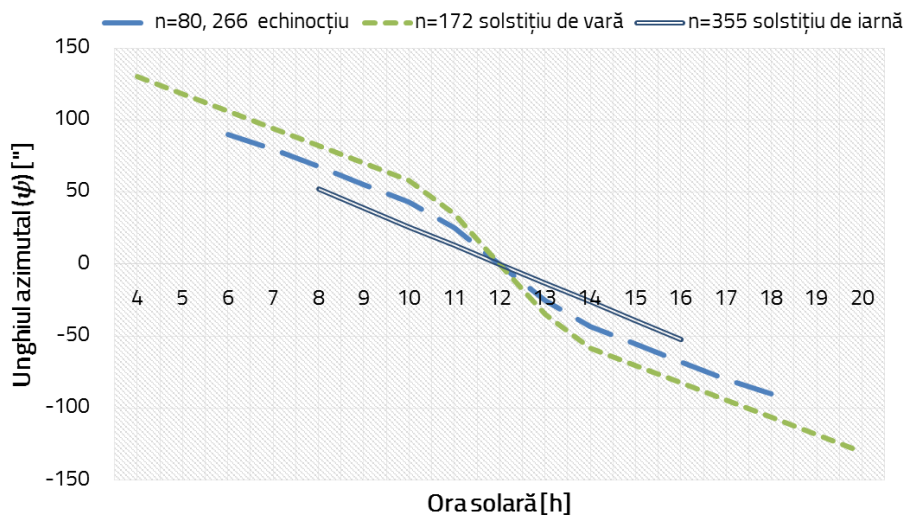


Figura 3.6. Variația unghiului azimutal în timpul echinocțiului și solstițiilor pentru Odorheiu Secuiesc

Un exemplu de model matematic de calcul al radiației solare disponibile, pornind de la radiația solară extraterestră ( $I_0$  – relația 3.7), este modelul Mellis [97], relația 3.8, cu largă utilitate în zone continentale și aplicat cu precădere în Centrul de Cercetare științifică Sisteme de Energii Regenerabile (RESREC) din Universitatea Transilvania.

$$I_0 = I_{sc} \cdot E_0 \cdot \sin(\alpha) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (3.7)$$

$$B = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{T_R}{0.9 + 9.4 \cdot \sin(\alpha)}\right) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (3.8)$$

În aplicarea lui este necesară cunoașterea factorului de turbiditate  $T_r$ , pentru care există în literatură recomandări foarte generale (tabel general 3.1.) [97], dar nu există recomandări specifice unei localități. Pentru Brașov, valori lunare ale lui  $T_r$  se dau în [97], [98], Tabelul 3.2.

Tabelul 3.1. Recomandări generale din literatură pentru factorul de turbiditate – latitudine 45°N

Luna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_R$ (General)	2,3	2,4	2,6	3,1	3,5	3,6	3,8	3,6	3,4	2,8	2,4	2,3

Tabelul 3.2. Exemplu de determinare a factorului de turbiditate pentru municipiul Brașov

Luna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_R$ (Brașov)	2,8	2,9	3	3	3	3,2	3,2	3,2	3	2,9	2,8	2,8

De asemenea, din relația 3.8 se obține modul de variație al radiației solare directe în zilele senine așa cum este arătat în figura 3.7.

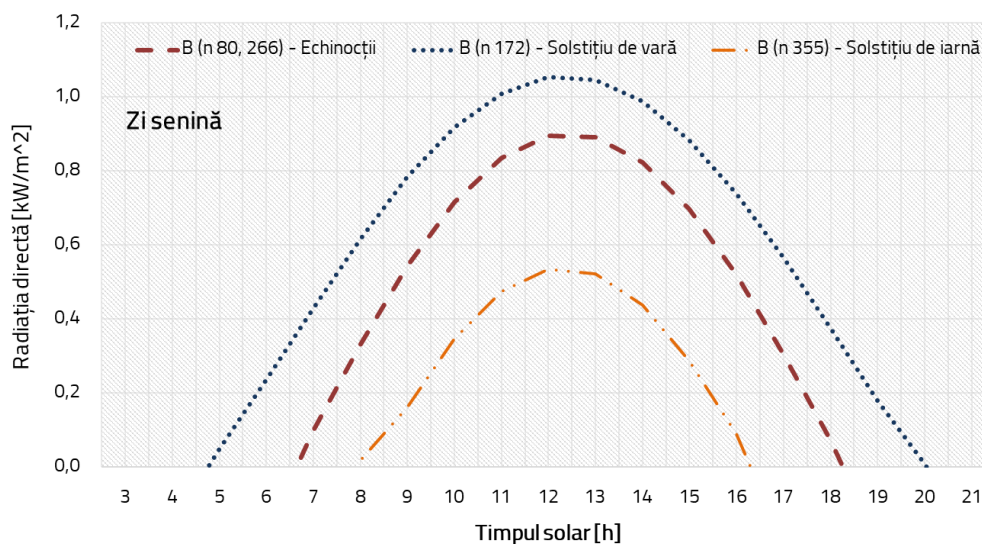


Figura 3.7. Modul de variație al radiației solare directe în zilele senine calculat cu metoda Mellis pentru Odorheiu Secuiesc

Numărul zilelor senine într-o lună și an este foarte mic și variabil și ca urmare estimarea potențialului zilnic, lunar, anual de energie solară este dificil și cu erori.

Măsurând într-o comunitate radiația solară în zilele senine, mai puțin senine și înnorate se poate determina un factor mediu de trecere a norilor cu care să se poată determina radiația medie la sol ( $B_{sol}$ ) [99], utilizând relația 3.9, așa cum este exemplificat în tabelul 3.3.

$$B_{sol} = B \cdot F_{cc} \quad [W/m^2] \quad (3.9.)$$

Tabelul 3.3. Exemplu de determinarea a factorului de traversare a norilor pentru Brașov

Luna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$F_{cc}$ (Brașov)	0,30	0,30	0,35	0,35	0,35	0,41	0,45	0,38	0,35	0,35	0,35	0,25

Având în vedere aceste lacune în determinarea în acest mod a potențialului energetic solar al unei comunități, nu se va utiliza în continuare această metodă.

### 3.2.2. Evaluarea potențialului solar disponibil cu programe specializate

Programe specializate pentru determinarea datelor într-o anumită locație se bazează pe interpretarea unor colecții de date, furnizate de stații meteo consacrate și extrapolarea acestora pentru o locație dată. Gradul de încredere al informațiilor furnizate depinde în mare măsură de distanțele dintre stațiile meteo și locația dată, dar aceste date pot fi interpretate și corectate în funcție de situația dată.

De-a lungul timpului au fost dezvoltate mai multe programe specializate fiind împărțite în funcție de: tipul datelor de intrare (date de la sateliți, de la stații meteo și cele care reinterpretează date disponibile), acoperirea (globală sau continentală), calitatea informațiilor livrate (profil zilnic/lunar) și tipul informației livrate pentru determinarea potențialului energetic solar (radiație globală, directă, difuză, nori, umbrire, etc.).

Dintre programele analizate, a fost selectată utilizarea softului Meteororm datorită numărului mare de parametri pe care îi poate simula și datorită gradului de încredere crescut prin utilizarea datelor furnizate de un număr mare de stații meteo locale (1422).

Astfel, metoda de evaluare a potențialului solar disponibil cu programe specializate se bazează pe programul Meteororm versiunea 7.1.

Programul poate genera simulări ale profilului climatic funcție de înregistrările pe zece ani ale stațiilor meteo disponibile în arealul locației selectate (de exemplu pentru Brașov sunt utilizate stațiile meteo din Cluj, Râmnicu Vâlcea și Târgu Mureș, figura 3.10.), putând fi selectate modalitățile de interpretare a bazei de date funcție de media celor zece ani, maximele sau minimele anuale/lunare ale celor zece ani.

Ulterior prin interpolare sunt generate șiruri de date pentru parametrii:

- Radiația Globală și subcomponentele sale (radiație directă și difuză);
- Temperatura exterioară;
- Temperatura solului;
- Viteza și direcția vântului;
- Trecerea norilor (umbrirea);
- Cantitatea de precipitații.

Șirurile de date simulate sunt raportate în fișiere de tip „.dat” sau „.xls”, rândurile definesc expunerea în timp a simulării (luna, ziua, ora, minutul), iar pe coloane sunt arătate datele simulate (radiația și subcomponentele sale, temperatura, vântul, umbrirea etc.).

Datele generate pot fi utilizate ca date de intrare pentru alte softuri specializate (ex. TRNSYS) de simulare a potențialului energetic funcție de tehnologii de conversie sau pot fi utilizate pentru generarea de rapoarte și predicții. Această metoda constituie modalitatea cea mai facilă de acces la informații cu privire la profilul climatic al unei locații, generând/simulând un pachet complet de date de intrare (radiație, temperatură, umbrire), la nivel de oră, zi, lună sau an ceea ce conduce la posibilitatea determinării potențialului energetic solar, la nivel de comunitate, fie analitic sau prin programe specializate.

### **3.2.3. Metoda de calcul a energiei solare utilizând date de la stații meteo locale**

Metoda are gradul cel mai ridicat de încredere privind datele meteorologice dintr-o locație dată, însă depinde de existența unei stații meteo locale și eventual de un istoric relevant cu privire la datele furnizate.

Avantajul acestei metode este dat de posibilitatea accesării unui set de informații personalizate, în funcție de necesități și de proiectul care urmează a fi realizat. Pentru exemplificare a fost selectată stația meteo care este în dotarea Institutului de Cercetare și Dezvoltare al Universității Transilvania (ICDT), după cum urmează.

Stația meteo ICDT este amplasată pe terasă clădirii laboratorului L7, având coordonatele de localizare: 45.66 N, 25.54 E.

Ținând cont de modul de înregistrare, intervalul de măsurare și erorile admisibile declarate de producător, pot fi sortate datele cu privire la radiația solară, (ex. înregistrările stației ICDT din anii 2014, 2015 și 2016), rezultanta fiind selecția și sortarea datelor pe luni calendaristice, în funcție zi și ora. Ulterior, funcție de interpretarea și sortarea datelor colectate se poate consolida o bază de date cu parametrii de intrare necesari pentru calcularea potențialului solar disponibil la nivel de zi, luna și an pentru comunități.

### **3.2.4. Compararea metodelor**

Compararea metodelor are ca scop determinarea gradului de încredere al informațiilor furnizate de programul Meteororm în raport de un set de informații culese pe o durată de trei ani (2014-2016) de la stația meteo a ICDT Brașov.

Se consideră pentru analiză zone cu profil climatic asemănător celei în care este instalată stația meteo și se determină radiația solară în acele zone prin softul Meteororm pentru comparare. Astfel au fost alese localitățile Brașov, Odorheiu Secuiesc și Sibiu. Pentru aceste localități, a fost determinată cantitatea de radiație globală (zilnică/lunară/ anuală) prin intermediul software-ului specializat Meteororm, iar rezultatele au fost comparate cu datele reale măsurate obținute ca medie a trei ani (2014, 2015 și 2016).

Analiza a avut ca scop determinarea gradului de încredere al utilizării unor serii de date prin interpretarea datelor disponibile la locații din apropierea locației de analiză, dar cu profil climatic asemănător. Astfel, în tabelul 3.6. au fost comparate datele privind radiația globală măsurată la stația ICDT și mediate datele obținute prin Meteororm pentru locațiile din Brașov, Sibiu și Odorheiu Secuiesc.

Rezultanta analizei arată diferențe foarte mici între estimarea (în Meteonorm) medie a trei locații din același areal (Sibiu, Brașov și Odorheiu Secuiesc), față de datele măsurate la stația meteo din ICDD Brașov așa cum sunt ele arătate în figura 3.18.

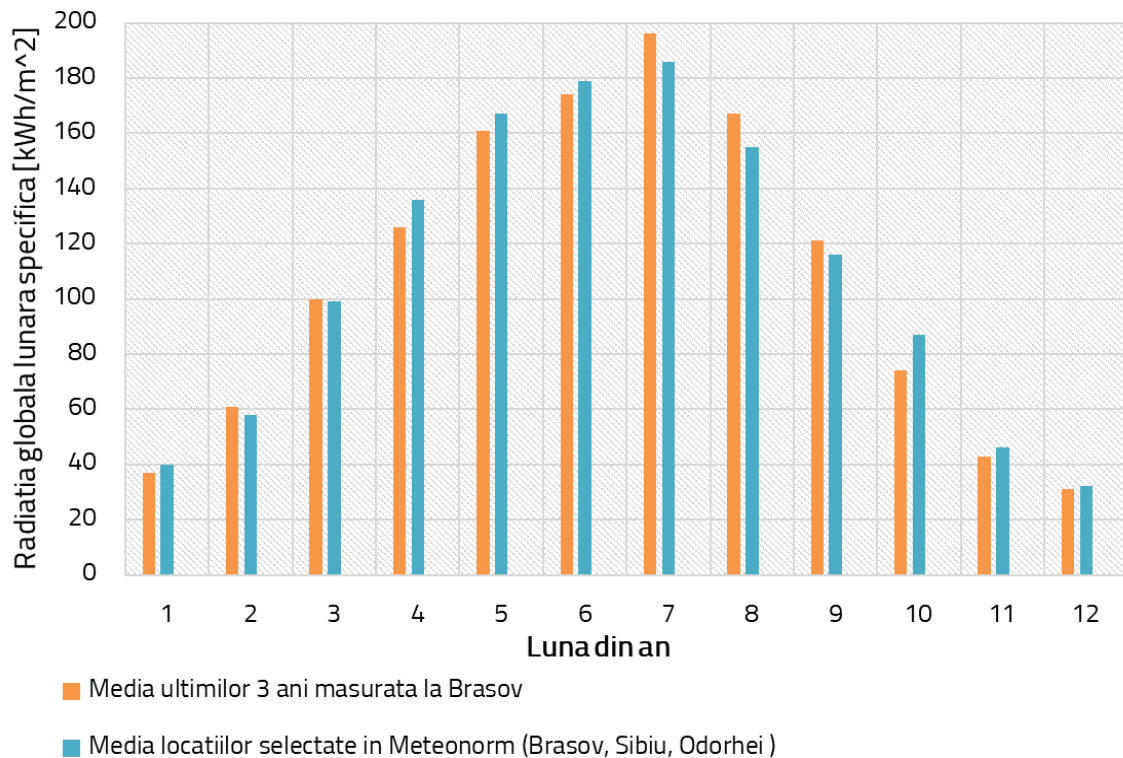


Figura 3.18. Reprezentare grafică a radiației măsurată și determinată prin programul Meteonorm

Arătând abaterile foarte mici între media localităților cu profil climatic asemănător observăm că abaterile radiației globale la nivel de an sunt de  $10 \text{ kWh/m}^2$ . Dispunerea lunară a abaterilor este în medie de  $\pm 5\%$  pentru perioada sezonului cald și semnificativ mai mare (maxim  $15\%$ ) pe perioada sezonului rece, în mare măsură datorită cantităților mici de radiație.

Concluziile analizei privind compararea metodelor arată că programul Meteonorm are un grad crescut de încredere, în special pentru lunile de vară și poate fi utilizat pentru predicții privind producerea de energie termică. Mai mult, așa cum a fost arătat, potențialul energetic previzionat la nivel de luna sau an poate fi extrapolat de la o localitate la alta, atâta timp cât acestea au profil climatic asemănător.

### 3.2.5. Sisteme aplicabile comunităților pentru conversia energiei solare

Sistemele solar-termice au rolul de a realiza conversia energiei solare în energie termică. Acestea sunt proiectate astfel încât să maximizeze aportul de căldură câștigat din conversia radiației solare globale prin intermediul colectoarelor solar termice. În acest sens, elementul cheie într-un sistem solar termic îl reprezintă colectorul solar; celelalte componente al sistemului fiind similare unui sistem clasic de preparare apă caldă menajeră și încălzire (pentru creșterea fezabilității sistemului).

Radiația solară captată de colectorul solar termic este convertită în energie termică prin captarea lungimilor de undă ultraviolet (UV) și vizibile (VIS) și prin convecția spectrului specifică aferent undelor infraroșii (IR).

Ulterior, energia termică este colectată prin intermediul unui agent termic și transferată într-un stocator de energie. Stocatoarele de căldură reprezintă o problema importantă, având în vedere că



producția de energie din timpul zilei nu este utilizată instantaneu, fiind consumată în diferite momente ale zilei sau nopții, sau în diferite sezoane.

### 3.2.6. Valorificarea potențialului solar din comunitate

Potențialul de energie solară, identificat la nivel de comunitate prin una din metodele anterior specificate, poate fi valorificat integral sau parțial. Valorificarea integrală presupune poziționarea optimă spre Sud (în emisfera Nordică) și spre Nord (în emisfera Sudică) prin unghiul de înclinare/tilt ( $\chi$ ) precum și continua orientare a suprafeței active a colectorului solar-termic astfel încât direcția razei solare să fie mereu perpendiculară pe suprafața colectorului. Acest lucru nu este fezabil, deoarece necesită sisteme de orientare continuă cu rapoarte foarte mari de transmitere [1].

Ca urmare, soluția practică este aceea a unei poziții fixe a colectorului sau a unei mișcări discontinue, în pași, ceea ce conduce la valorificarea parțială a potențialului energiei solare într-o comunitate.

Se asigură în acest mod un procent mare de captare a radiației solare (de obicei peste 98%), comparativ cu poziționarea fixă a colectoarelor solare (caz în care radiația solară este de aproximativ 70%) [1].

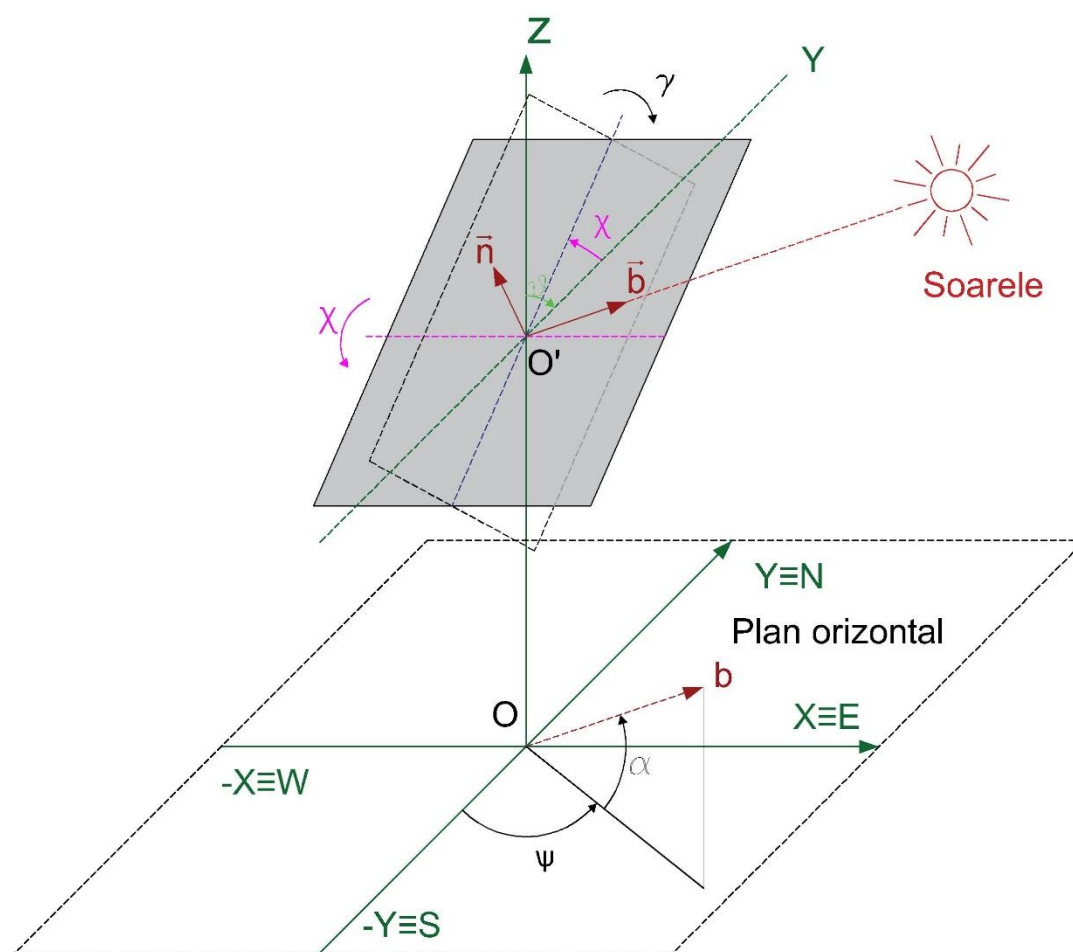


Figura 3.23 Unghiuri: azimutal ( $\psi$ ), altitudinal ( $\alpha$ ), înclinare/tilt ( $\chi$ ), diurn ( $\gamma$ )

Radiația solară captată este dată de ecuația 3.10 în care ( $\nu$ ) este unghiul de incidență dintre direcția razei solare ( $B$ ) și normala ( $n$ ) la planul colectorului.

$$B_n = B / \cos(\nu) \quad [W/m^2] \quad (3.10.)$$

Un sistem general de orientare cu axe și funcționare la orice latitudine ( $\varphi$ ) este utilizat în figura 3.23. Conform figurii, în planul orizontal al observatorului se definește sistemul triortogonal drept de referință OXYZ la care axa X are sens pozitiv spre Est, axa Y are sensul pozitiv spre Sud, iar axa Z este verticală locului (zenitul).

În acest sistem de referință unghiurile curente ale soarelui, unghiul azimutal ( $\psi$ ) și unghiul altitudinal ( $\alpha$ ), se definesc astfel: unghiul ( $\psi$ ) se măsoară de la  $-Y$  spre Est ca sens pozitiv (sensul trigonometric), iar unghiul ( $\alpha$ ) reprezintă unghiul dintre raza solară și proiecția ei pe planul orizontal al locului.

Pornind de la sistemul OXYZ, direcția razei solare ( $\vec{b}$ ) se obține prin rotațiile din relația 3.11, reprezentate în figura 3.24, matricele de rotație sunt definite în relațiile 3.12. – 3.14.:

$$OXYZ \rightarrow OX_\psi Y_\psi Z_\psi \rightarrow OX_\alpha Y_\alpha Z_\alpha \quad (3.11.)$$

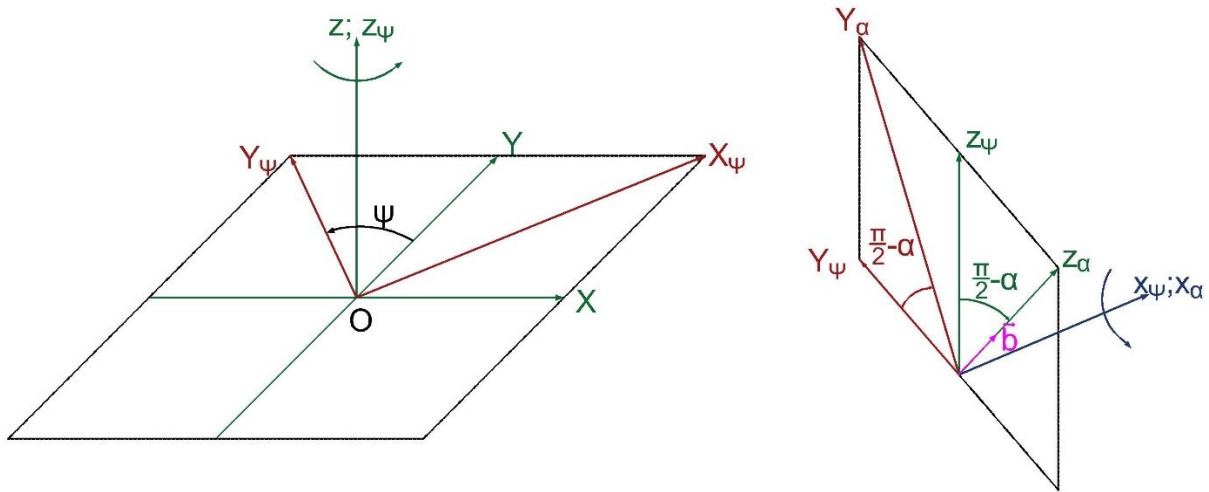


Figura 3.24. Direcția razei solare ( $\vec{b}$ ) și unghiurile aferente

$$[M_\psi] = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.12.)$$

$$[M_\alpha] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \end{bmatrix} \quad (3.13.)$$

$$\vec{b} = [M_\psi] \cdot [M_\alpha] = \begin{bmatrix} \sin \psi \cos \alpha \\ -\cos \psi \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{bmatrix} \quad (3.14.)$$

Poziția suprafeței colectorului fix se definește prin unghiul de înclinare/tilt ( $\chi$ ). Este unghiul dintre planul colectorului fix și planul orizontal al locului, colectorul fiind orientat spre Sud (pentru emisfera Nordică) și spre Nord (pentru emisfera Sudică). Unghiul de înclinare/tilt ( $\chi$ ), se calculează cu relația 3.15, având valori minime vara și maxime iarna.

$$\chi = |\varphi - \delta| \quad [^\circ] \quad (3.15)$$

În cazul orientării prin unghiul de tilt ( $\chi$ ), în direcția razei solare ( $\vec{b}$ ) și normala ( $n_\chi$ ) la planul colectorului apare unghiul de incidență ( $\nu_\chi$ ).



Pornind de la sistemul  $O'XYZ$ , direcția normalei ( $n_\chi$ ) se obține prin rotația din relația 3.16, reprezentată în figura 3.25, obținând matricea de rotație din relația 3.17:

$$O'XYZ \rightarrow O'X_\chi Y_\chi Z_\chi \quad (3.16.)$$

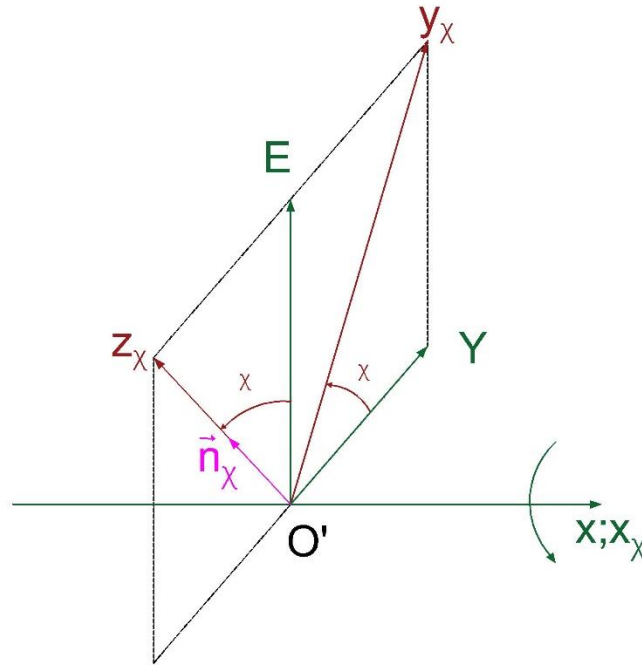


Figura 3.25. Direcția normalei ( $n_\chi$ ) și unghiurile aferente

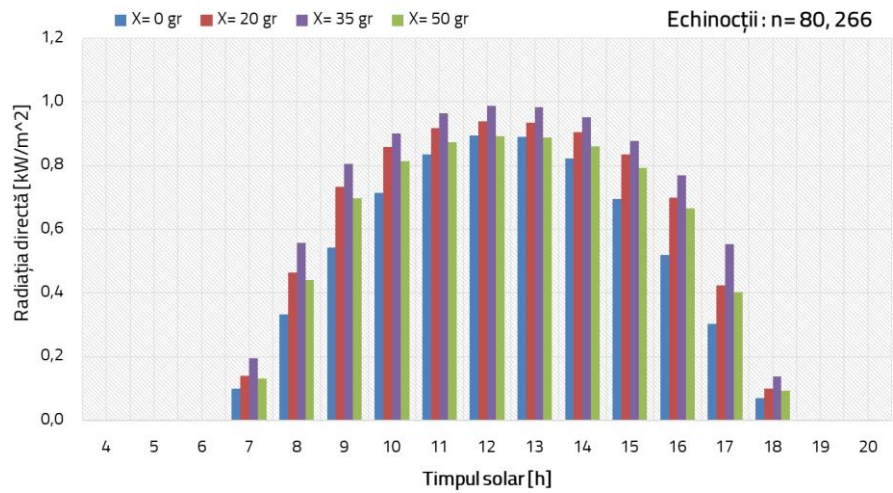
$$[M_\chi] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \chi & -\sin \chi \\ 0 & \sin \chi & \cos \chi \end{bmatrix} \quad (3.17.)$$

Direcția normalei ( $\vec{n}_\chi$ ) este dată de relația 3.18, iar unghiul de incidență ( $v_\chi$ ) se calculează cu relația 3.19:

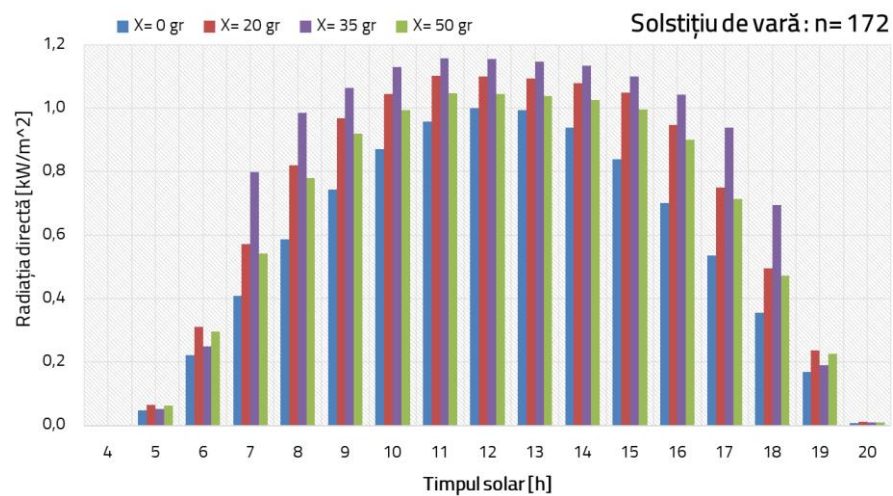
$$[\vec{n}_\chi] = [M_\chi] \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\sin \chi \\ \cos \chi \end{bmatrix} \quad (3.18.)$$

$$v_\chi = \arccos[b] \cdot [n_\chi] = \arccos(\cos \psi \cdot \cos \alpha \cdot \sin \chi + \sin \alpha \cdot \cos \chi) \quad (3.19.)$$

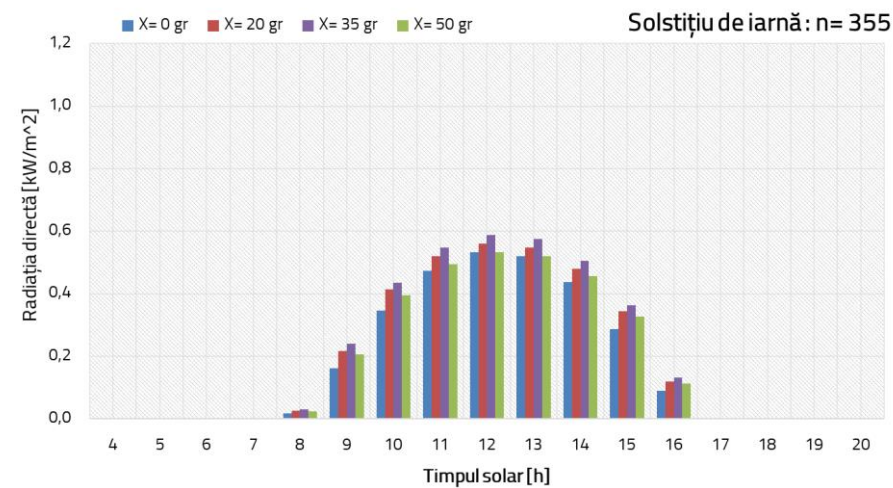
Pentru locația dată (Odorheiu Secuiesc) și o zi senină, modelul Mellis conduce la evaluarea radiației (B) disponibile având diferite valori ale unghiului ( $\chi$ ), așa cum este arătat în figura 3.26.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.26. Diagrama radiației (B) la Odorheiu Secuiesc pentru diferite valori ale unghiului de tilt ( $\chi$ )= $0^\circ, 20^\circ, 35^\circ, 50^\circ$ , a) Echinocții, b) Solstițiu de vară, c) Solstițiu de iarnă

Diagrama radiației (B) disponibile funcție de diverse valori ale unghiului de tilt ( $\chi$ ) așa cum a fost reprezentată în figura 3.26. pentru zilele reprezentative (echinocții și solstiții) arată faptul că orientarea unghiului de înclinare/tilt poate maximiza cu până la 25% captarea radiației și că unghiul optim depinde

de ziua din an cu valori maxime în sezonul rece (aprox.  $60^\circ$ ) și valori minime în sezonul cald (aprox.  $12^\circ$ ). Pentru mărirea captării rediției (B) se poate face orientarea zilnică a colectorului.

O modalitate simplă și eficientă, aplicabilă direct șirurilor de colectoare, este apoi rotația în jurul celei de-a doua axe a modelului (figura 3.27), cu unghiul diurn ( $\gamma$ ) variabil funcție de latitudinea ( $\varphi$ ) și ziua din an ( $n$ ).

Normala ( $\vec{n}$ ) la modul se obține în acest caz funcție de relația 3.20 reprezentată în figura 3.26 ( $M_\chi$ ) și în figura 3.27, ale căror matrice de rotație sunt date de relația 3.17 ( $M_\chi$ ), pentru unghiul ( $\chi$ ) și relația 3.21 pentru unghiul diurn ( $\gamma$ ).

$$O'XYZ \rightarrow O'X_\chi Y_\chi Z_\chi \rightarrow O'X_\gamma Y_\gamma Z_\gamma \quad (3.20.)$$

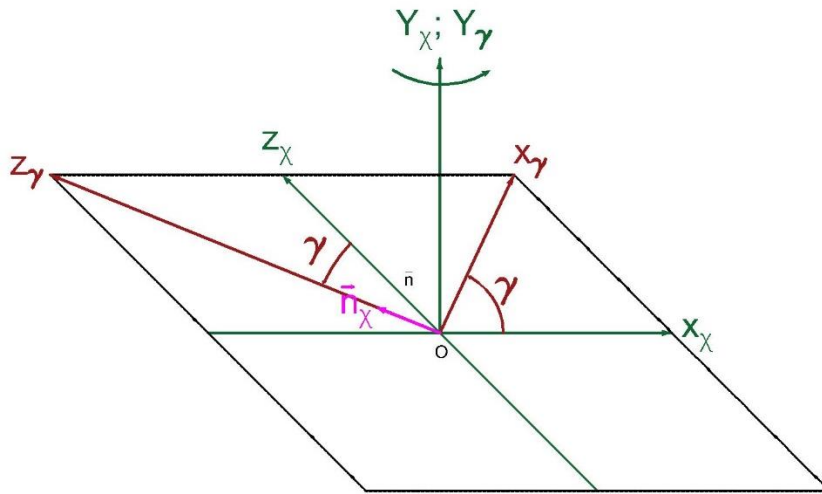


Figura 3.27. Direcția normalei ( $n_\chi$ ) funcție de unghiul diurn ( $\gamma$ ).

$$[M_\gamma] = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (3.21.)$$

Ca urmare, normala ( $\vec{n}$ ) se determina conform relației 3.22, iar unghiul de incidența diurn conform 3.23.

$$[\vec{n}_\gamma] = [M_\chi] \cdot [M_\gamma] \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \gamma \\ -\sin \chi \cdot \cos \gamma \\ \cos \chi \cdot \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (3.22.)$$

$$v_\gamma = \arccos[b] \cdot [n_\gamma] = \arccos (\cos \psi \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi_3 + \cos \psi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \chi \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \cos \chi \cdot \cos \gamma) \quad (3.23.)$$

În baza ecuațiilor descrise au fost trasate, pentru comparare, diagrame (figura 3.27) pentru radiația directă (B), în ziua  $n=172$ , solstițiul de vară, ținând seama de valoarea optimă a unghiului de tilt ( $\chi$ )= $35^\circ$  și cu diverse valori ale unghiului diurn  $\gamma$ , respectiv  $\pm 15^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ .

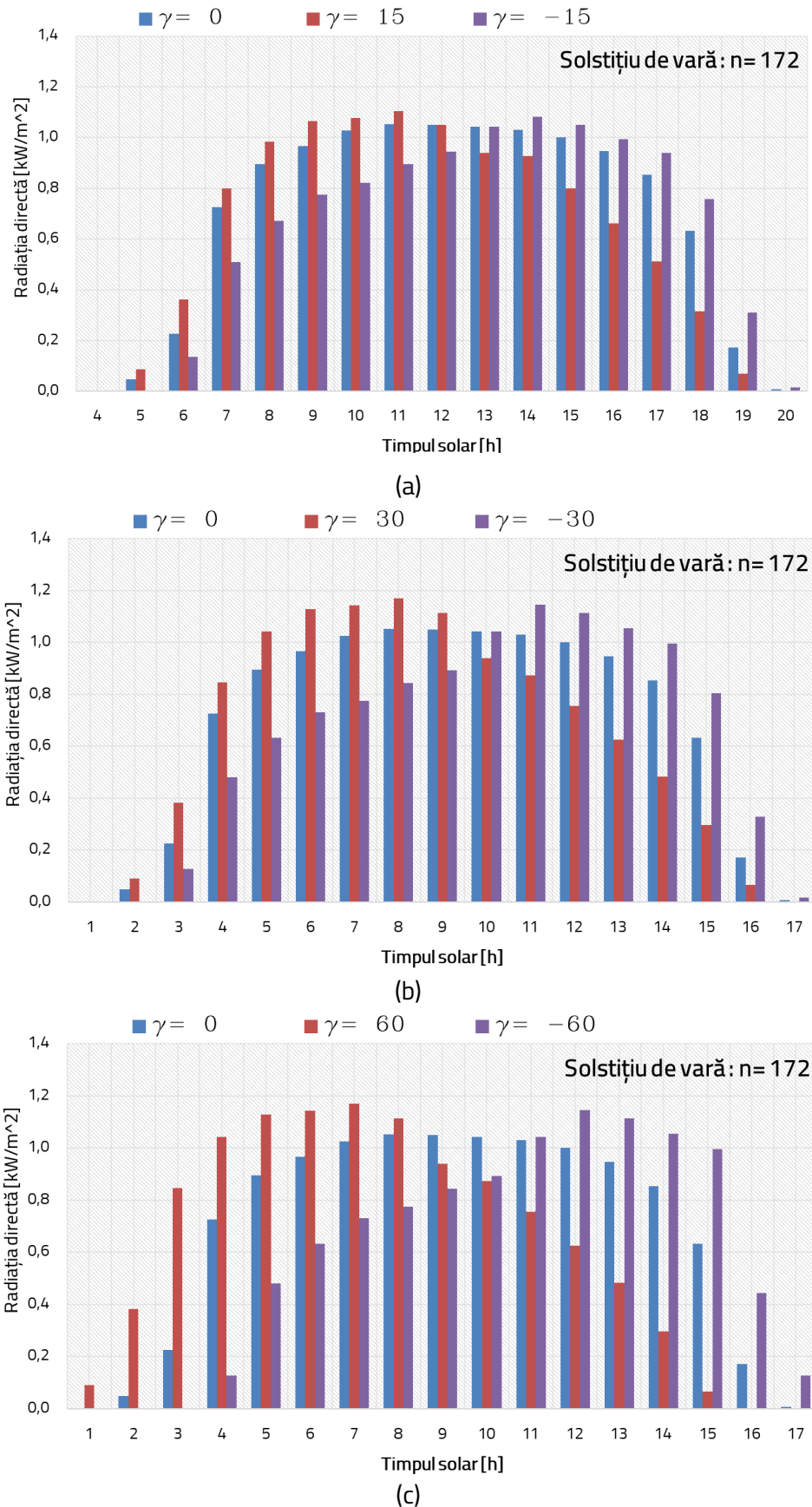


Figura 3.28. Diagrama radiației (B) la Odorheiu Secuiesc în ziua 172 cu unghiul de înclinare ( $\chi$ )=35°  
 a) unghiul diurn ( $\gamma$ )=±15°, b) ±30°, c) ±60°

Analizând cele definite în diagrama 3.28 se constată posibilitatea maximizării captării radiației datorită modificării unghiului diurn. Oportunitatea modificării unghiului și implicit maximizarea captării energiei

solare este determinată de posibilitatea combinării variației unghiulare pe parcursul zilei astfel încât să se poată capta energie disponibilă atât pe partea pozitivă a unghiului diurn cât și pe partea negativă.

Etapile de calcul a potențialului solar (figura 3.29) sunt determinate ținând seama de datele profilului climatic determinate prin cele trei metode (stație meteo, utilizarea de softuri de simulare a datelor meteo sau simularea radiației prin calcul analitic), iar datele de ieșire (radiația globală și subcomponentele acesteia) devin date de intrare pentru determinarea potențialului energetic solar disponibil ce poate fi realizat prin softuri specializate de predicție (ex. Trnsys) sau determinat analitic prin calcul.

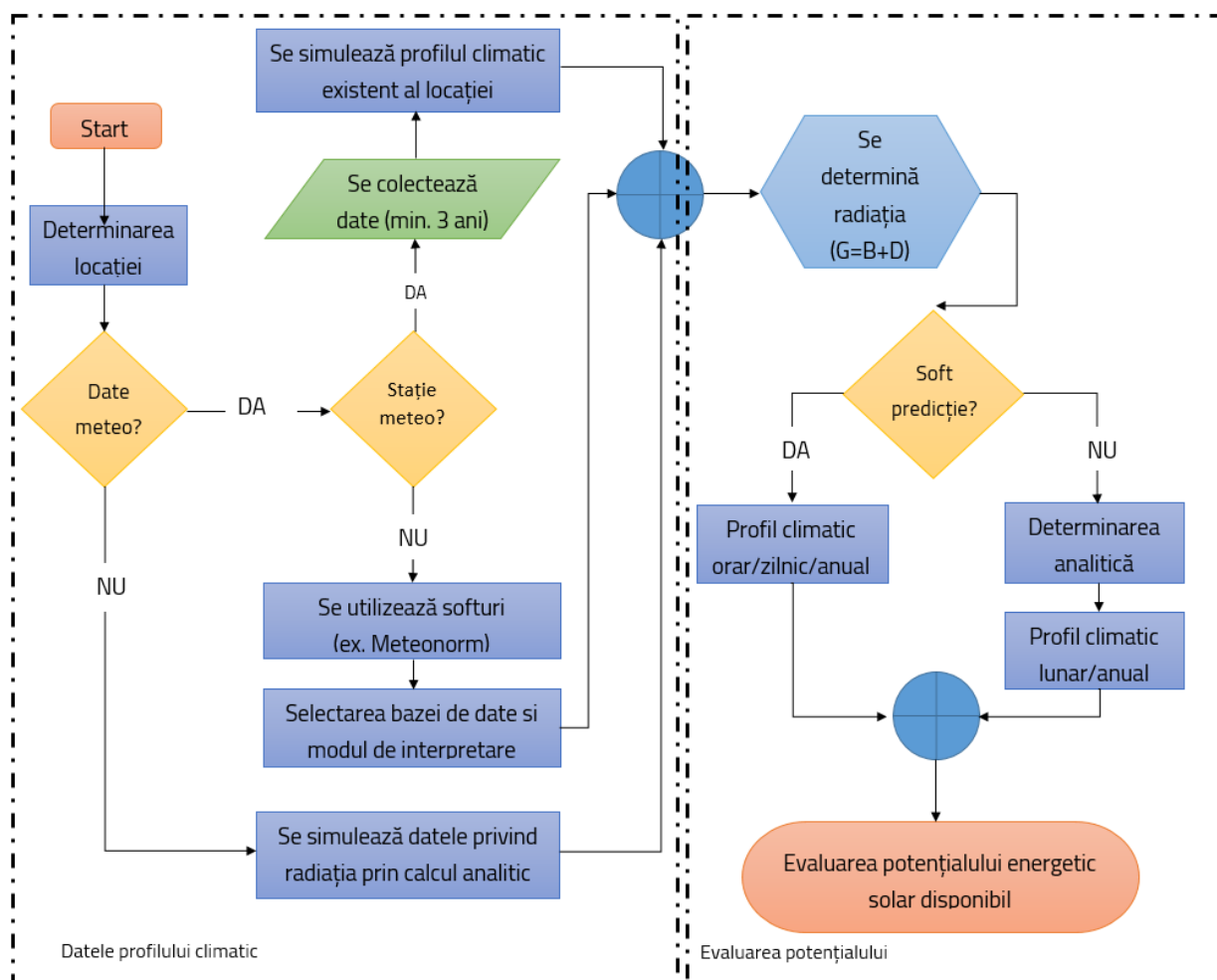


Figura 3.28. Etapele de calcul al potențialului solar într-o comunitate

### 3.3. Identificarea potențialului energetic al biomasei lemnoase

În conformitate cu definiția dată de Directiva 28/2009/CE, biomasa este „fracțiunea biodegradabilă a produselor, deșeurilor și reziduurilor de origine biologică din agricultură (inclusiv substanțe vegetale și animale), silvicultură și industriile conexe, inclusiv pescuitul și acvacultura, precum și fracțiunea biodegradabilă a deșeurilor industriale și municipale” [16]. Această înseamnă că, în condițiile unei procesări industriale adecvate, biomasă proaspăt recoltată poate fi convertită în produse similare cu gazul natural sau cu combustibilii lichizi sau solizi.

O parte covârșitoare a biomasei disponibile pentru energie provine din material vegetal și din produse animaliere. O prima distincție se poate face luând în considerare originea biomasei provenite din diferite



sectoare, cum ar fi: sectorul agricol, silvicultură, sectorul industrial și cel urban. O altă clasificare poate fi făcută după natură să: culturi energetice, reziduuri agricole sau forestiere și deșeuri.

Cea mai utilizată biomasă este cea lemnoasă sub formă de *deșeuri* (reziduuri forestiere, tocătură de lemn, peleți și brichete din lemn, rumeguș etc.) sau sub formă de *culturi energetice* precum iarba elefantului (*miscanthus*), plopul, salcia etc. O altă sursă de biomasă vegetală este constituită din culturi de trestie de zahăr și porumb.

Întregul potențial mondial al biomasei este estimat ca producție primară la peste 100 de miliarde de tone/an, reprezentând aproximativ 10% din consumul de energie [106].

Resursa biomasă, în sens larg este considerată că fiind întreagă vegetație de pe suprafață Pământului, fiind echivalentă, în unități de conversie energetică, cu 4500 EJ. Între una și două treimi din această energie poate fi regenerată anual prin fotosinteză. La începutul secolului 21, așa cum a fost remarcat deja, biomasa echivalentă cu 50 EJ a fost folosită în fiecare an pentru a furniza energie, cea mai mare parte venind din combustibil din lemne folosit pentru încălzire și gătit. Estimările sugerează că între 200 EJ și la 500 EJ ar putea fi eventual utilizate pentru generarea de energie electrică. Cum cererea de energie primară de așteptat să ajungă de la 600 EJ până la 1000 EJ până în 2050, sursele de biomasă ar putea, în principiu cel puțin, să ofere o proporție semnificativă a cererii totale [107].

### 3.3.1. Tipuri de biomasă lemnoasă

Biomasă lemnoasă se poate clasifica în funcție de proveniență acesteia, în:

- a) biomasă provenită din **culturi energetice** cu perioada de vegetație scurtă/culturi ligno-celulozice
- b) biomasă provenită din reziduuri și **deșeuri din sectorul forestier**.

### Randamentul creșterii plantelor energetice

Exploatarea unor culturi pentru producerea de biomasă, pe terenuri bune și arabile permite o creștere a producerii de energie aducând multe avantaje din punct de vedere al mediului înconjurător. Această soluție crește veniturile fermierilor și aduce avantaje mediului [109].

Deoarece lemnul dintr-o singură plantație nu poate fi recoltat în fiecare an, o industrie a acestei culturi va necesita plantații care pot fi recoltate în rotație, astfel încât combustibilul să fie disponibil tot timpul. Randamentele tipice de la plantațiile de lemn sunt 10-11 tone uscate / ha / an pentru salcie și 8-13 tone uscate/ha/an pentru plop așa cum se arată în Tabelul 3.8. Această se compară cu un randament de 2,5 tone uscat/ha/an pentru biomasă forestieră [107].

Tabelul 3.8. Randamentele pentru culturile energetice [112]

Tip de biomasă	Randament anual [tone uscate/ hectar]
Panicum Virgatum	7,7 – 14,3
Plopul hibrid	8,1 – 12,8
Salcia	10,1 - 11
Biomasă forestieră	2,5

### Potențialul energetic al biomasei

Lemnul recoltat conține în jur de 10 GJ/tonă, crescând până la 19 GJ/tonă după ce a fost uscat. Paiele

de cereale conțin 15 GJ/tonă, în timp ce conținutul de energie al Panicum Virgatum este de 16 GJ/tonă și al Miscanthus este de 19 GJ/tonă. Neuscată, salcia cu creștere rapidă are un conținut de energie de 10 GJ/tonă, ceva tipic pentru lemnul neuscat. În comparație, cărbunile conține în genera, 27-30 GJ/tonă și petrolul 42-45 GJ / tonă așa cum este arătat în tabelul 3.9.

Tabelul 3.9. Valoarea energetică a biomasei [112], [115]

Tip de combustibil	Valoare calorică [GJ/tonă]	Valoare calorică [kWh/tonă]
Lemn recoltat	10	2.777
Lemn uscat	19	5.263
Paie de cereale	15	4.155
Miscanthus	19	5.263
Salcie cu creștere rapidă	10	2.777
Panicum Virgatum	16	4.432
Cărbune	27-30	7.479-8.310
Petrol	42-45	11.634-12.465

Cultivarea și recoltarea de combustibil din biomasă este doar prima etapă a infrastructurii complexe necesară pentru a sprijini dezvoltarea pe scară largă și pe termen lung a biomasei pentru producerea de energie. Deoarece recoltarea va fi de multe ori sezonieră, combustibilul trebuie să fie depozitat pentru a oferi o aprovizionare pe tot parcursul anului și rețele de transport trebuie să fie create pentru a menține furnizarea centralelor. Acest lucru va necesita integrarea extensivă a agriculturii și industriilor energetice [107].

Determinarea potențialului energetic al biomasei la nivel de comunitate se poate realiza utilizând ecuația 3.21. ca dată preliminară pentru alegerea tehnologiei de conversie a biomasei în energie.

$$E_b = (S_{\text{pădure}} \cdot C_{\text{deșeuri}} \cdot V_{\text{cal}}) + (S_{\text{pădure}} \cdot C_{\text{exploatare}} \cdot \eta_{\text{producție}} \cdot V_{\text{cal}}) + (S_{\text{culturi}} \cdot C_{\text{culturi}} \cdot V_{\text{cal}}) \text{ [kWh]} \quad (3.21)$$

$E_b$  = Potențialul anual energetic al biomasei [kWh],  $S_{\text{pădure}}$  = suprafața de pădure disponibilă în arealul comunității [ha];  $S_{\text{culturi}}$  = suprafața de culturi energetice disponibilă proiectului [ha]  $C_{\text{deșeuri}}$  = cantitatea de deșeuri forestiere generată anual [tone/ha];  $C_{\text{exploatare}}$  = cantitatea de lemn exploatată anual [tone/ha];  $C_{\text{culturi}}$  = cantitatea de biomasă rezultată din culturile energetice [tone/ha];  $\eta_{\text{producție}}$  = randamentul producției din masa lemnoasă recoltată pentru procesare (mobilă, pal etc),  $V_{\text{cal}}$  = Valoare calorică a biomasei,

### 3.3.2. Tehnologii de conversie a biomasei lemnoase

Există o serie de modalități de conversie a biomasei în energie, dar cea mai utilizată este arderea materialului într-un cazan. Principala alternativă la acest lucru este gazeificarea biomasei prin care combustibilul este transformat într-un gaz combustibil care poate fi ars pentru a furniza căldură.

Centralele de biomasă tind să fie mici și mai puțin eficiente în comparație cu centralele convenționale pe bază de combustibili fosili. Cu toate acestea, eficiența poate fi îmbunătățită dacă acestea pot oferi energie termică, iar această configurație este frecventă, în special în industriile care utilizează propriile deșeuri de biomasă pentru producerea de energie (ex. figura 3.30.). O altă metodă care permite o utilizare mai eficientă a biomasei este co-arderea. Acest lucru implică adăugarea unui procent de

biomasă cărbunelui într-o centrală care arde cărbuni. Centralele mari și moderne pe cărbune pot funcționa la randament ridicat și atunci când este prezentă co-arderea, biomasa fiind transformată în energie cu aceeași eficiență [108].

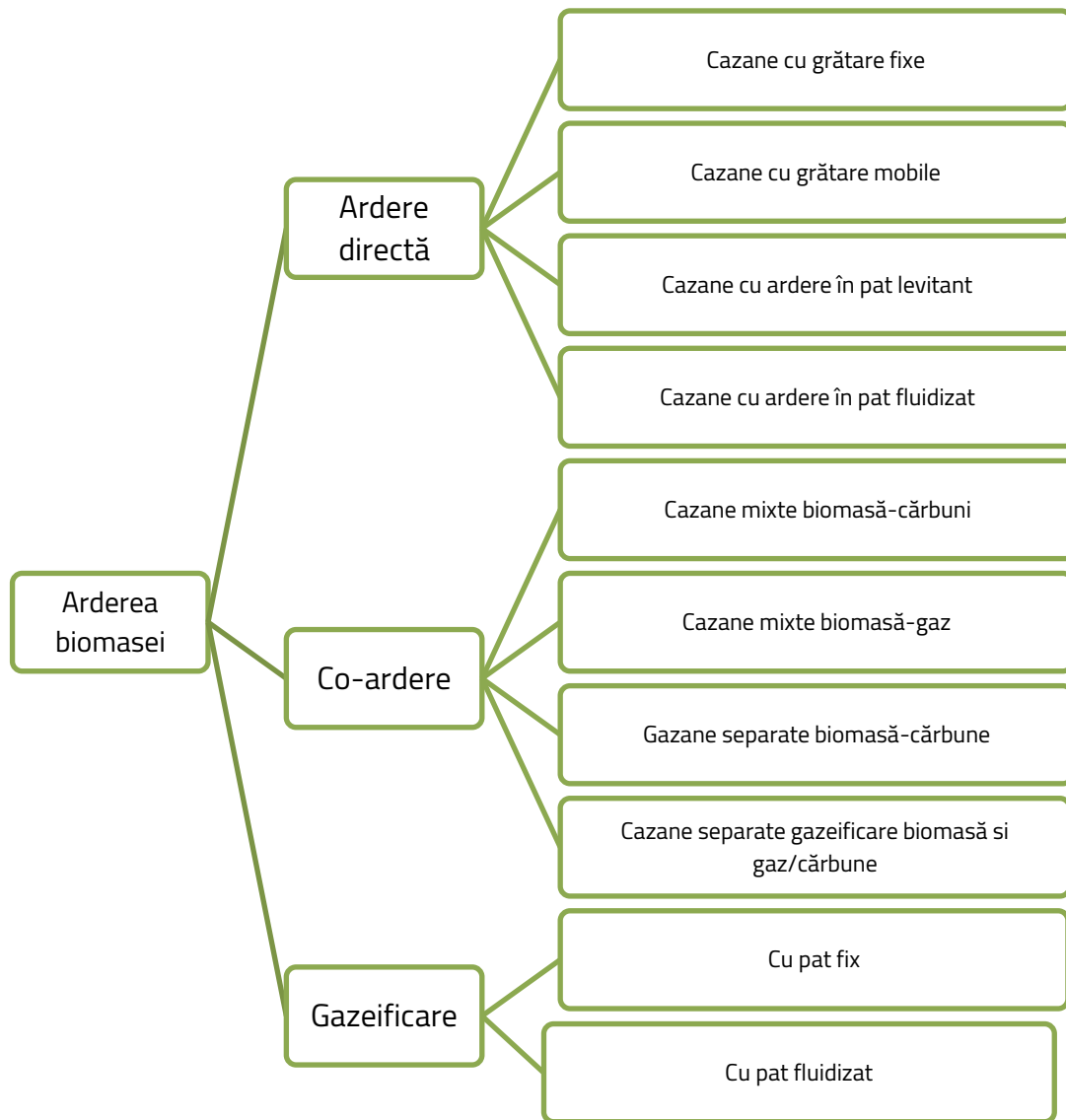


Figura 3.30. Posibilități de convertirea biomasei în energie

### 3.3.3. Soluții tehnice aplicabile pentru arderea biomasei

În prezent, piața oferă mai multe soluții și stimulente pentru a utiliza diferite tipuri de combustibili din clasa biomasei pentru a produce energie. Evoluțiile tehnologice în timp au crescut capacitatea de a arde diferite tipuri de combustibili (prin intermediul unor concepte specifice de cazane) și flexibilitatea de a arde diferiți combustibili într-un cazan. Ținând cont de acestea, nu există încă nicio soluție definitivă care permite valorificarea oricărui tip de biomasă. Complexitatea este crescută atunci când acești combustibili din biomasă sunt amestecați și arși împreună cu alți combustibili, cum ar fi cărbunele, nămolul sau orice alt proces disponibil deșeuri reziduale [119], [120].

Soluțiile privind tehnologiile de ardere trebuie alese, personalizat, funcție de aplicație, dar recomandarea ar fi ca procentul de utilizare a biomasei să fie maximizat. Astfel, tehnologiile de ardere directă sunt cele mai utilizate/recomandate pentru implementarea în comunități urmate de sistemele



de co-ardere datorită existenței în amplasament a tehnologiei și posibilităților facile de conversie în special pentru cazanele care utilizează cărbunii ca sursă de energie.

### **Cazane cu arderea biomasei în pat levitant (BFB)**

Cazanele cu arderea biomasei în pat fluidizat (BFB - **B**ubbling **B**luidized **B**ed boilers) sunt adesea preferate în aplicații la scară mică, cu combustibili cu valoare redusă de căldură și conținut ridicat de umiditate. Eficiența acestui cazan depășește în mod normal 90% [119].

Nucleul cazanului BFB este camera de ardere. Acesta are pereți răciți cu apă, iar partea inferioară are o căptușeală refractară completă; porțiunea inferioară a peretelui de apă este, de asemenea, căptușită refractară. Patul fluidizat este realizat prin intermediul unui sistem de duze în partea de jos a cazanului, care creează turbulență și care sporește amestecarea combustibilului și creșterea eficienței cazanului prin conversia carburilor re-arse rămase în energia utilizabilă.

Patul este de obicei format din nisip și cu o cantitate mică de combustibil. Fluidizarea se produce atunci când un curent gazos (aer primar) trece printr-un pat de particule solide în suficientă viteză (peste viteza minimă de fluidizare) pentru a învinge forța gravitațională a particulelor. Calcarul poate fi adăugat în pat pentru a elimina sulf și/sau clor. Aerul primar este injectat prin grila de jos a a cazanului. Aerul primar reprezintă o treime din totalul de aer necesar arderii, restul de aer fiind asigurat de aerul secundar și terțiar. Plaja de funcționare a patului fluidizat este caracterizată în primul rând de viteza de fluidizare și de antrenare a particulelor, minimă și maximă, fiind de obicei situată în jurul valorii de 1,2 m/sec. O altă componentă esențială este temperatura de combustie, care, în general se situează între 800 și 950 ° C [120].

Construcția simplă a cazanului, coroborată cu temperatura de combustie scăzută și cu posibilitatea de a regla viteza de fluidizare și cantitățile optime de aer, fac din tehnologia cazanelor cu arderea biomasei în pat fluidizant varianta optimă față de alte tehnologii non-fluidizante (cu grătare mobile) [120].

### **Cazane cu arderea biomasei în pat fluidizat circulant (CFB)**

Cazanele cu pat fluidizat circulant (CFB - **C**irculating **F**luidized **B**ed boilers) sunt utilizate în mod normal în aplicații mai mari, tehnologia de realizare fiind similară în concept ca și la cazanele cu arderea biomasei în pat levitant. CFB realizează o flexibilitate sporită pentru arderea multi-combustibililor cu un conținut ridicat de umiditate și eficiență de până la 95%. Configurarea CFB cuprinde separatoare solide care separă particulele antrenate de curentul de gaze de ardere și le reciclează în camera de ardere inferioară. Particulele colectate sunt reintroduse în camera de ardere prin circuitul închis. Adăugarea separatoarelor solide, precum și alte măsuri ca supra-încălzitorul secundar, permit tehnologiei cu pat fluidizat circulant să ajungă la valorile cele mai mari în ceea ce privește eficiența și disponibilitatea, oferind flexibilitate excelentă în ceea ce privește calitatea combustibililor. Viteza de antrenare a particulelor de biomasă, este punctul limită care definește trecerea de la o BFB la un CFB. Gama de operare CFB este fixată de viteza de antrenare. Dincolo de această viteză materialul patului devine antrenat și solidele sunt distribuite de-a lungul camerei de ardere, cu o densitate care scade gradual de la partea de jos la partea de sus a cazanului. Viteza de fluidizare este mai mare decât într-un BFB și poate fi între 4,5-6,7 m/s. [120].

## **Cazanele cu grătare mobile**

Cazanele cu grătare mobile, precum și cazane BFB, sunt utilizate în unități mai mici de 10 MWh și în mod normal pentru utilizări industriale. Cazanele cu grătare mobile, pot arde o gamă de combustibili mai mare decât un BFB, dar emisiile de gaze arse și eficiența sunt mai scăzute decât în cazul BFB. Cazanul cu grătare mobile oferă performanțe foarte bune la arderea combustibililor cu umiditate scăzută și combustibili cu conținut de alcaline ridicate. Cazanele cu grătare mobile pot arde combustibili dificili ca paie, culturi agricole etc..

Există diferite tehnologii disponibile, cu caracteristici diferite, în funcție mai ales de combustibilul care va fi ars, printre acestea fiind: cu plan vibrant, rotativ, cu piston sau cu vibratoare, cu grătare mobile, etc. Toate grătarele aferente cazanelor cu grătare mobile sunt acționate mecanic și se bazează în mare parte pe aerul primar de răcire, deși unele grătare sunt în plus, răcite cu apă. Toate grătarele lucrează pe principiul mișcării combustibilului ars dintr-o parte în altă a cazanului, pentru a atinge timpul de staționare suficient și pentru a arde cât mai mult combustibil posibil [121].

Spre deosebire de arderea constantă BFB, distribuția combustibilului este realizată peste grătar (figura 3.33), iar formă haldei prin care acesta se deplasează dintr-o parte în cealaltă a camerei de ardere creează o distribuție neuniformă și ardere neuniformă în consecință, a combustibilului. Această ardere inegală cauzează emisii mai mari și crește conținutul nears în cenușă rezultând o scădere a randamentului cazanului. Pentru a asigura cât mai mult posibil o distribuție uniformă a combustibilului, atât alimentarea cu combustibil cât și mărimea particulelor de combustibil trebuie să fie asigurate continuu și controlat cu atenție, fiind necesară o dimensiune omogenă obligatorie a combustibilului [121].

Alegerea cazanului (tehnologiei) de ardere directă depinde în mare măsură de aplicație, de dimensiunea comunității și implicit de capacitatea instalată. De regulă, pentru capacități cuprinse între 0,5 și 8 MW se optează pentru cazanele cu grătare mobile datorită flexibilității în utilizare (opriri și porniri dese), a ușurinței în operare (poate fi făcută cu simpli fochiști) și a posibilității de utilizare a biomasei mai puțin prelucrată (cu dimensiuni neregulate).

Pentru capacități mai mari de 10 MW sunt preferate cazanele cu ardere în levitație (BFB) sau cele cu pat fluidizant (CFB), datorită randamentului ridicat și a posibilităților de gestionare a unei cantități mari de biomasă. Diferența între cele două tipuri de cazane este data de calitatea și dimensiunea biomasei, cerințele în cazul CFB fiind foarte stricte.

În final au fost trasate etapele de calcul al potențialului energetic provenit din biomasă (figura 3.33) unde sunt precizați pașii necesari de parcurs pentru evaluarea potențialului energetic la nivel de comunitate rezultat din conversia biomasei lemnoase pornind de la determinarea locației colectarea datelor privind suprafețele de păduri/culturi energetice disponibile, utilizând cele trei posibilități descrise anterior (determinarea cantităților de reziduuri forestiere, de procesare și determinarea cantităților rezultate din culturile energetice).

Ulterior, în funcție de volumul de biomasă lemnoasă disponibilă și de alegerea tehnologiei de conversie a biomasei rezultă evaluarea potențialului energetic din biomasă.

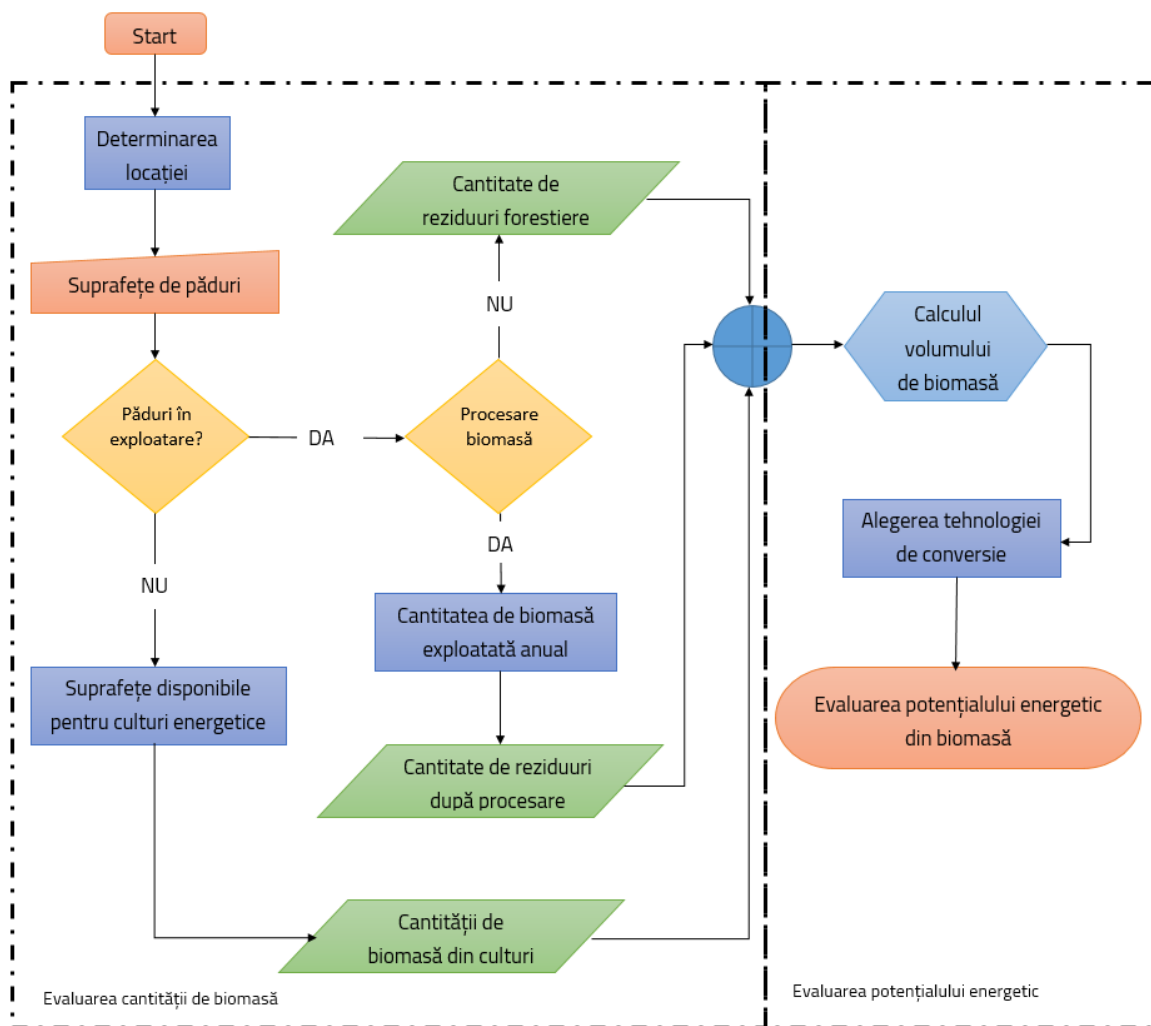


Figura 3.34. Etapele de calcul al potențialului energetic provenit din biomasa lemnoasă

### 3.4. Concluzii și contribuții

În urma analizării modalităților de evaluare a potențialului energetic la nivel de comunitate au rezultat următoarele **concluzii**:

- Evaluarea potențialului energetic solar poate fi realizată prin simulare, pornind de la date generate de softuri specializate (ex. Meteonorm) sau prin interpretarea datelor culese de la o stație meteo locală (acolo unde există).
- Predicțiile profilului climatic al comunității studiate bazate pe date meteo provenite din amplasament primează, mai ales în situația în care există un istoric, oferind posibilitatea dimensionării sistemelor solar-termice personalizate cu un reglaj fin al necesității.
- În lipsa operării unei stații meteo locale, sau pentru evaluare inițială a potențialului energetic solar, softurile de predicție meteo pot oferi informații cu un grad crescut de încredere (ex. Meteonorm 2-5% abateri față de măsurătorile de la stația meteo).
- Pentru evaluarea potențialului energetic solar la nivel de comunitate a fost adoptată metoda utilizării predicțiilor furnizate de softul Meteonorm cu posibilitatea corectării datelor meteo cu informații provenite de la stații locale, acolo unde acestea sunt disponibile.
- Maximizarea potențialului solar disponibil constă în alegerea tehnologiei optime de conversie și în alegerea unghiurilor de orientare a colectoarelor solare pentru captarea energiei solare.

Orientarea unghiului de înclinare/tilt poate maximiza cu până la 25% captarea radiației, iar orientarea față de unghiul diurn suplimentează acest beneficiu.

- f) Biomasa lemnoasă utilizabilă într-o comunitate provine fie ca reziduu/deșeu din sectorul forestier fie din culturi energetice cu perioadă de vegetație scurtă (până la 3 ani).
- g) Pe lângă identificarea cantității de biomasa disponibilă, pentru evaluarea potențialului energetic al biomasei este necesară identificarea modalităților de conversie a biomasei lemnoase aplicabile. Dintre cele trei modalități, respectiv arderea directă, co-arderea sau gazeificarea, pentru aplicabilitate în conversia de energie termică soluția optimă o reprezintă arderea directă.
- h) Soluțiile tehnice de ardere a biomasei depind funcție de mărimea comunității și implicit de dimensiunea capacității instalate. Pentru capacități între 0,5...8 MW se optează pentru cazane cu grătare mobile, iar pentru capacități mai mari de 10 MW se optează pentru cazanele cu ardere în levitație sau cele cu ardere în pat fluidizat.
- i) Evaluarea potențialului energetic din biomasa lemnoasă depinde de suprafețele de păduri disponibile de suprafețele existente sau disponibile pentru culturi energetice și de alegerea tehnologiei de ardere a biomasei.

Principalele **contribuții** se referă la:

- a) Analiza modalităților de identificare a potențialului energetic solar la nivel de comunitate prin predicții bazate pe date meteo provenite de la stații meteo locale sau softuri specializate.
- b) Dezvoltarea metodei de simulare a potențialului energetic solar bazat pe predicția profilului meteorologic pornind de la date generate de softul Meteonorm, aplicabil oricărei locații aferente comunităților, fără a depinde existența stației meteo în locație.
- c) Determinarea unghiului de incidență optim pentru calculul radiației captate și maximizarea energiei captate prin modificarea unghiurilor de tilt și diurn.
- d) Definirea schemei logice de identificare a potențialului solar cu etapele subsecvente pornind de la definirea locației până la evaluare.
- e) Sistematizarea tipurilor de biomasă lemnoasă, a modalităților de conversie în energie termică și a soluțiilor tehnice de ardere a biomasei pentru comunități.
- f) Definirea schemei logice de identificarea a potențialului energetic al biomasei lemnoase.

## CAPITOLUL 4: CONCEPEREA, DEZVOLTAREA ȘI OPTIMIZAREA SISTEMULUI HIBRID PENTRU O COMUNITATE FORMATĂ DIN LOCUINȚE COLECTIVE

Algoritmul propus este aplicat în conceperea sistemului hibrid bazat pe energie solară și biomasă lemnoasă pentru o comunitate. Conceptul se bazează pe interpretarea datelor existente în teren cu privire la infrastructură existentă și la necesarul de energie estimată sau măsurată.

Colectarea datelor de intrare, conceperea schemei de funcționare, evaluarea și optimizarea funcționării prin simulare cu programe de specialitate (ex. TRNSYS) sunt pași preliminari pentru proiectarea sistemului hibrid.

### 4.1. Etape în dezvoltarea sistemului hibrid

Conceptul general pornește de la necesitatea utilizării surselor de energie regenerabilă (biomasă și solară), pentru asigurarea necesarului de încălzire și ACM pe întreaga durată a anului. În acest sens a fost concepută o schemă logică generală privind etapele necesare funcție de specificul locației de implementare și datele de intrare disponibile.

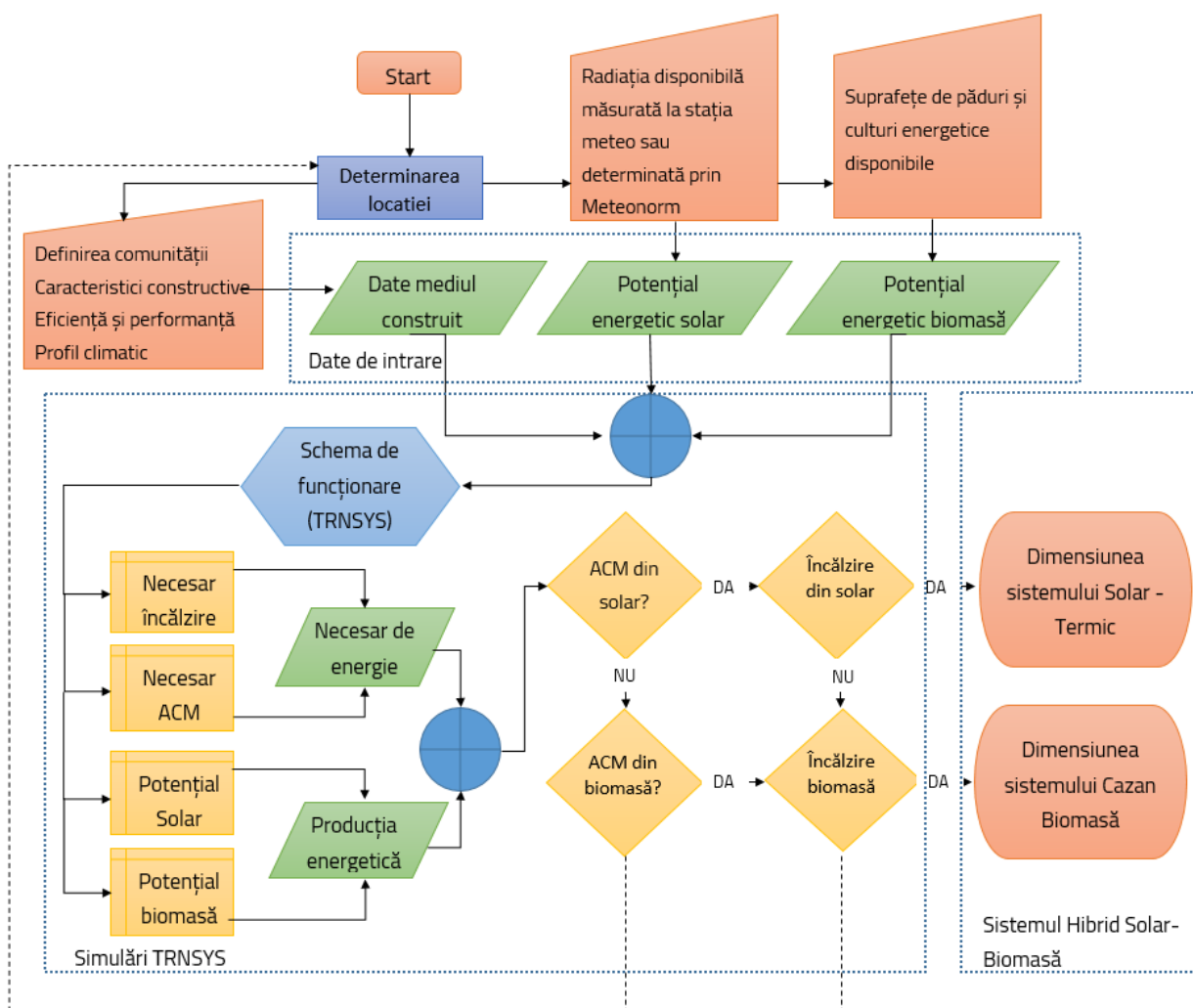


Figura 4.1. Etapele privind conceperea unui sistem hibrid solar-biomasă

Schema logică pentru conceperea unui sistem hibrid solar-biomasă (figura 4.1.) este etapizată pornind de la determinarea locației și limitele acesteia astfel putând fi definit mediul construit cu subcomponentele acestuia (caracteristici constructive, eficiență și performanță), profilul climatic,

radiația solară disponibilă și suprafețele de păduri/terenuri de care dispune comunitatea. În baza datelor de intrare sunt definite caracteristicile mediului construit și potențialul energetic solar, respectiv potențialul energetic al biomasei.

Conceptul se bazează pe trei etape de parcurs:

- a) culegerea datelor de intrare (caracteristicile privind mediului construit și potențialul energetic din locația analizată);
- b) conceperea unei scheme tehnice de funcționare astfel încât necesarul de energie să fie acoperit integral din sursele de energie (solară și biomasă);
- c) simularea acoperirii necesarului de energie cu tehnologia dimensionată.

#### **4.2. Datele de intrare**

De regulă, dimensionarea componentelor de producere și livrare a energiei termice se realizează în funcție de standardele naționale specifice care tind să supradimensioneze capacitățile instalate [80], dar colectarea datelor din locație, bazate pe un istoric (de minim 1 an), aduce beneficii majore prin optimizarea costurilor în ceea ce privește capacitățile instalate [71] și posibilitatea personalizării soluțiilor tehnice în funcție de nevoi [122]. Astfel, vor fi identificate și colectate date specifice locației, după cum urmează:

##### **Date de intrare referitoare la mediul construit**

- 1) **Definirea comunității:** așa cum a fost precizat în capitolul 2, această definiție ține de limitele fizice, demografice, potențialul probabil al surselor de energie regenerabilă și structura mediului construit.
- 2) **Caracteristicile mediului construit:** prin clasificarea tipurilor de clădiri deservite, suprafețe utile, gradul de izolare, etc.
- 3) **Eficiența și performanța mediului construit:** definind astfel consumurile/necesarul de energie specifice, raportate sau calculate.
- 4) **Consumul energetic înregistrat,** reprezentând istoricul măsurat/facturat de energie. Poate substitui datele de intrare (precizate la punctele 2 și 3) în situația în care există un istoric de minim 3 ani care să reflecte că informațiile au un grad ridicat de încredere;
- 5) **Numărul de consumatori** și comportamentul acestora (în special cu privire la consumul de apă caldă menajeră);
- 6) **Infrastructură disponibilă,** cuprinzând tipurile de echipamente/instalații existente (sisteme de pompare, conducte, sisteme de stocare etc.) disponibile proiectului.

##### **Date de intrare pentru evaluarea potențialului energetic**

- 7) **Datele meteorologice:** Parametri de climat exterior specifici (temperatura aerului exterior; temperatura exterioară de proiectare pentru iarnă, umiditatea relativă a aerului exterior; intensitatea radiației solare; viteză vântului de referință). Acești parametri pot fi furnizați de o stație meteo locală (situația ideală) sau pot fi simulați de programe specializate (ex. Meteororm) [123]. Aceste date constituie date de intrare pentru programe de simulare energetică și, oricare ar fi sursa de informații, acestea sunt relevante dacă au o frecvență de minim 7,5 minute (0,125 ore);

- 8) **Suprafețele de păduri și culturi energetice:** disponibile proiectului, de unde poate fi extrasă cantitatea de materie lemnoasă recoltabilă anual și implicit cantitatea de energie ce poate fi convertită din aceasta.

#### 4.3. Schema funcțională (TRNSYS)

Simularea consumului energetic al clădirilor reprezintă o metodă bine-cunoscută pentru evaluarea performanței energetice, încă din anii '70; acum programele de specialitate pot evalua temperatura aerului interior și umiditatea în funcție de date de intrare constând în condițiile climatice exterioare, generând astfel diferite soluții de îmbunătățire a performanțelor energetice a clădirii [123].

##### Conceperea schemei de simulare

Analizând posibilitățile de implementare a unui sistem hibrid, a fost realizată o schemă de simulare (figura 4.6.), utilizând programul TRNSYS Simulation Studio 17.

Schema de simulare se bazează pe utilizare a 4 circuite termice (bucle), din care două pentru producerea energiei termice (circuitul colectoarelor solare și cel al cazanului pe biomasă) și două pentru distribuția energiei termice (circuitul pentru încălzire și cel pentru ACM), toate relaționând ca intrare și ieșire printr-un rezervor de energie termică. Cele 4 circuite sunt:

- 1) **Circuitul colectoarelor solar-termice**, figura 4.3, are în componență colectorul solar, pompa de circulație a agentului termic prin colectorul solar, schimbătorul de căldură, pompa de circulație a agentului termic prin schimbătorul de căldură și un stocator de energie termică (rezervor). Acest circuit este definit de tipul colectorului solar adoptat, de tipul schimbătorului de căldură utilizat pentru izolarea circuitului primar (al colectoarelor) și de regimul de funcționare (temperatura admisibilă la care poate funcționa circuitul);
- 2) **Circuitul cazanului de conversie a biomasei**, figura 4.3, are în componență cazanul de ardere a biomasei, pompa de circulație a agentului termic prin cazan și stocatorul de energie. Circuitul este definit de tipul de cazan selectat (cu grătare, pat fluidizat etc.), dar și de regimul de funcționare, mai ales în situația în care aceste tipuri de cazane necesită durate semnificative de timp de la pornire până la atingerea parametrilor optimi de funcționare;
- 3) **Circuitul de distribuție a energiei termice**, figura 4.4, are în componență sistemul de colectare – distribuție, un sistem de pompare și un sistem de preparare/producere locală prin intermediul unui schimbător de căldură. Circuitul este definit de consumul de energie raportat la suprafața specifică și este influențat de temperatura exterioară, de calitatea mediului construit studiat și de instalațiile/echipamentele de distribuție a energiei termice aferente. În funcționare circuitul de încălzire extrage energie termică din rezervorul de energie, prin intermediul unei pompe.
- 4) **Circuitul pentru ACM**, figura 4.5, are în componență un sistem de colectare-distribuție completat de un sistem de pompare și un sistem de preparare locală prin intermediul unui schimbător de căldură. Circuitul este definit de consumul de energie/volumul de apă caldă necesară raportat la numărul de locuitori și depinde în mare măsură de comportamentul acestora. Funcționalitatea este realizată de preparare ACM prin intermediul schimbătorului de căldură și de pompa care extrage energie termică din rezervor. Prepararea apei calde se produce instantaneu (la cerere), de regulă prin intermediul unor module termice de preparare locală.

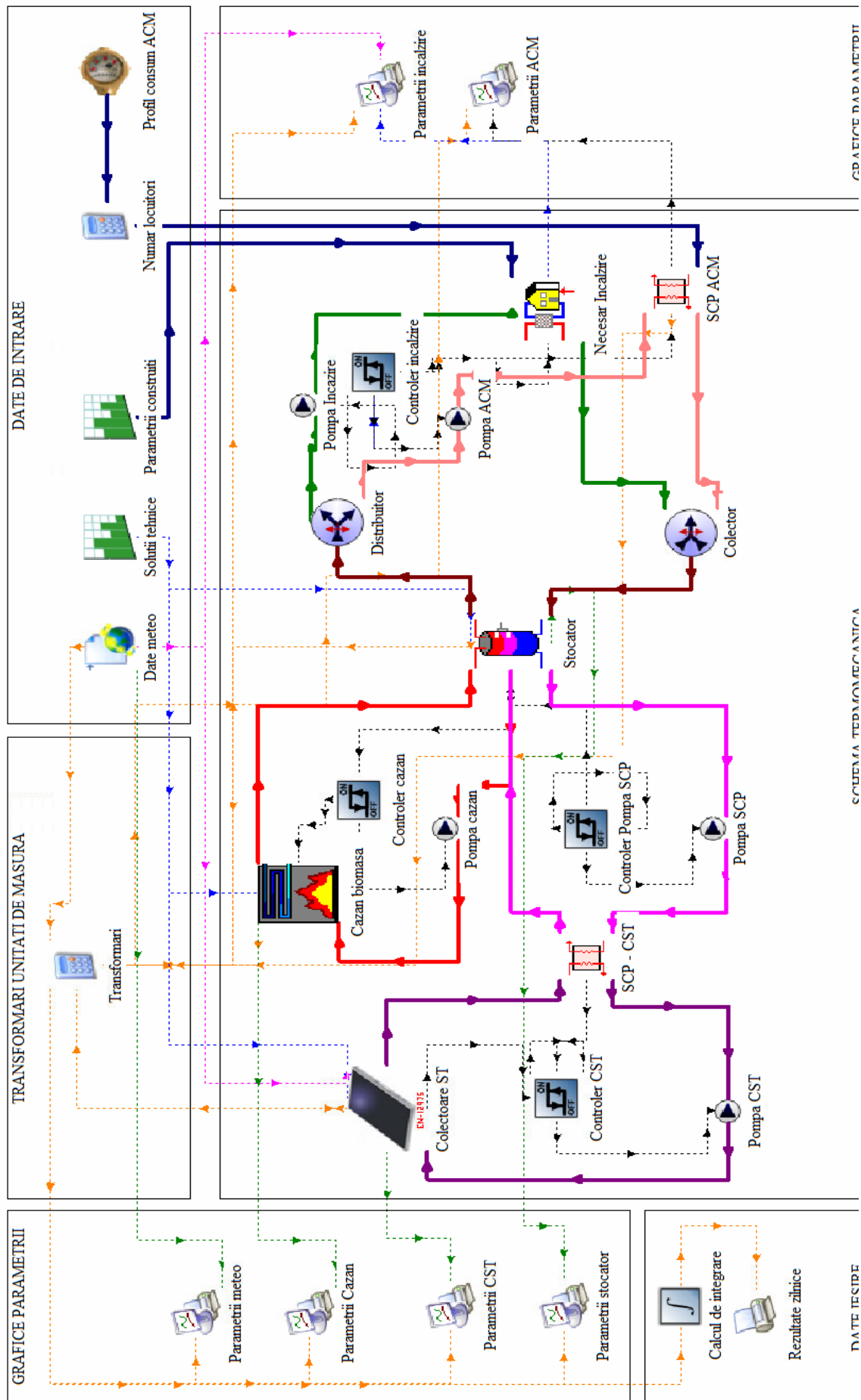


Figura 4.6. Schemă de funcționare a modelului simulat în programul TRNSYS



#### 4.4. Simulare funcțională

Simularea funcțională are ca scop identificarea funcționalității și optimizarea soluției tehnice de implementare prin personalizare având în vedere consumul de energie termică și potențialul energetic local. Pentru simulare cu date reale a fost aleasă locația utilizată pentru studii de caz în capitolele 2 și 3, respectiv cartierul Taberei din municipiul Odorheiu Secuiesc, jud. Harghita.

Astfel au fost introduse date de intrare cu privire la mediul construit utilizând diagrama de calcul definită în capitolul 2, figura 2.7. și parametrii de performanță simulați prin aceasta definiți prin studiul de caz de la capitolul 2.5.3. În baza acestor parametrii au fost realizate predicții cu privire la necesarul de energie pentru încălzire și ACM așa cum va fi arătat în capitolele 4.4.1 și 4.4.2

Datele de intrare cu privire la radiația solară au fost determinate utilizând programul Meteonorm și metodologia de predicție definită în capitolul 3.2.2, iar cele cu privire la biomasă au fost calculate utilizând metodologia definită în capitolul 3.3.

##### 4.4.1. Necesarul de energie pentru încălzire

Necesarul de energie pentru încălzire poate fi determinat prin predicții simulate în programul TRNSYS, sau similar, pornind de la datele de intrare definite în diagrama 2.7 (capitolul 2), generând caracteristicile mediului construit cu subcomponentele acestuia (tipul de clădiri, dispunere, eficiența, etc.) așa cum a fost arătat în capitolul 2.5, funcție de profilul climatic al locației (măsurat sau evaluat cu programe specifice).

Alternativ, acolo unde sunt disponibile, pot fi utilizate date cu privire la consumul de energie termică, facturate/înregistrate de furnizorii locali. Aceste date sunt raportate la profilul climatic al locației și, în funcție de caracteristicile meteorologice orare/zilnice/lunare, prin intermediul softului de predicție (ex. TRNSYS) pot fi simulate date cu privire la necesarul de energie pentru încălzire.

În figura 4.7. sunt arătate diagrama la nivel de necesar de energie anual, generată în programul TRNSYS cu privire la consumul specific raportat la mediul construit din cartierul Taberei, municipiul Odorheiu Secuiesc. Predicția privind necesarul de energie pentru încălzire a fost generată funcție de consumul de energie termică raportată pe durata a doi ani. Pornind de la analiza datelor utilizate pentru definirea consumului specific anual din metoda consumului real descrisă pe larg în capitolul 2.5.2.

Ulterior, prin intermediul integratorului de date și a generatorului de grafice definit pentru predicția necesarului de energie pentru încălzire au fost trasate diagramele specifice cu privire la fluxul de energie necesară ( $Q_{\text{încălzire}}$ ) definit ca unitate specifică de consum a mediului construit studiat și având ca unitate de măsura  $W/m^2$ .

Softul de predicție a generat curbele necesarului de energie pentru încălzire, la nivel de lună cu reprezentarea fluxului de energie necesară și dependența acestuia de temperatura exterioară a mediului ambiant așa cum este exemplificat în figura 4.7. (b) și (c).

Analizând diagramele, pentru locația dată, putem observa că necesarul de energie este sezonier (lunile noiembrie-martie) și fluctuant la nivel orar, cu accente pentru orele nocturne mai ales atunci când temperatura mediului ambiant scade.

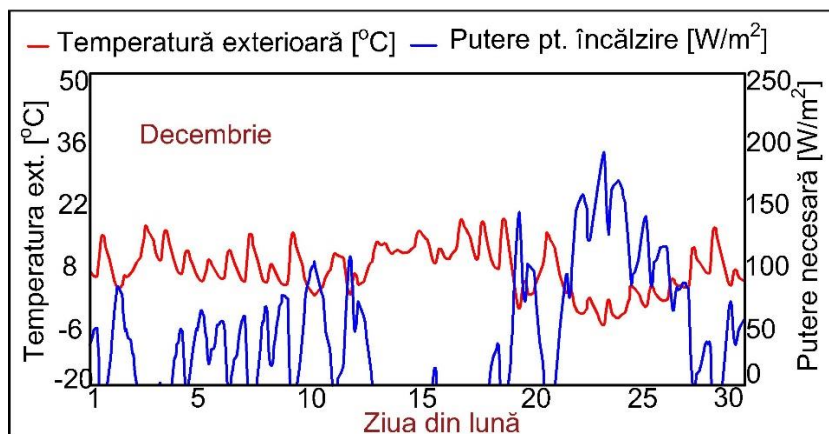
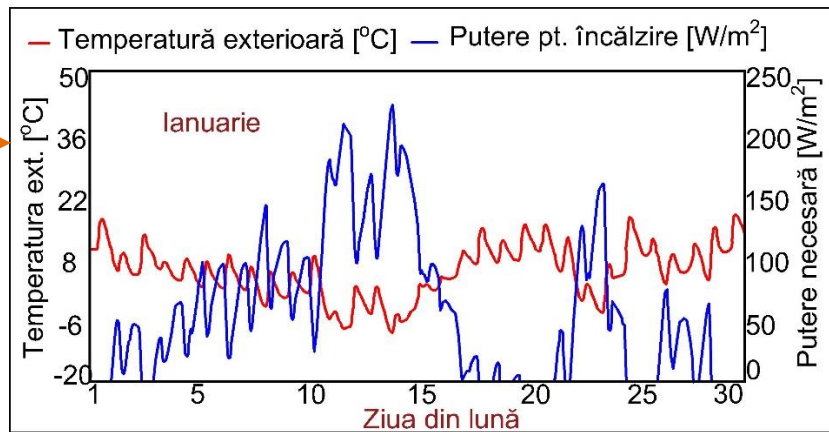
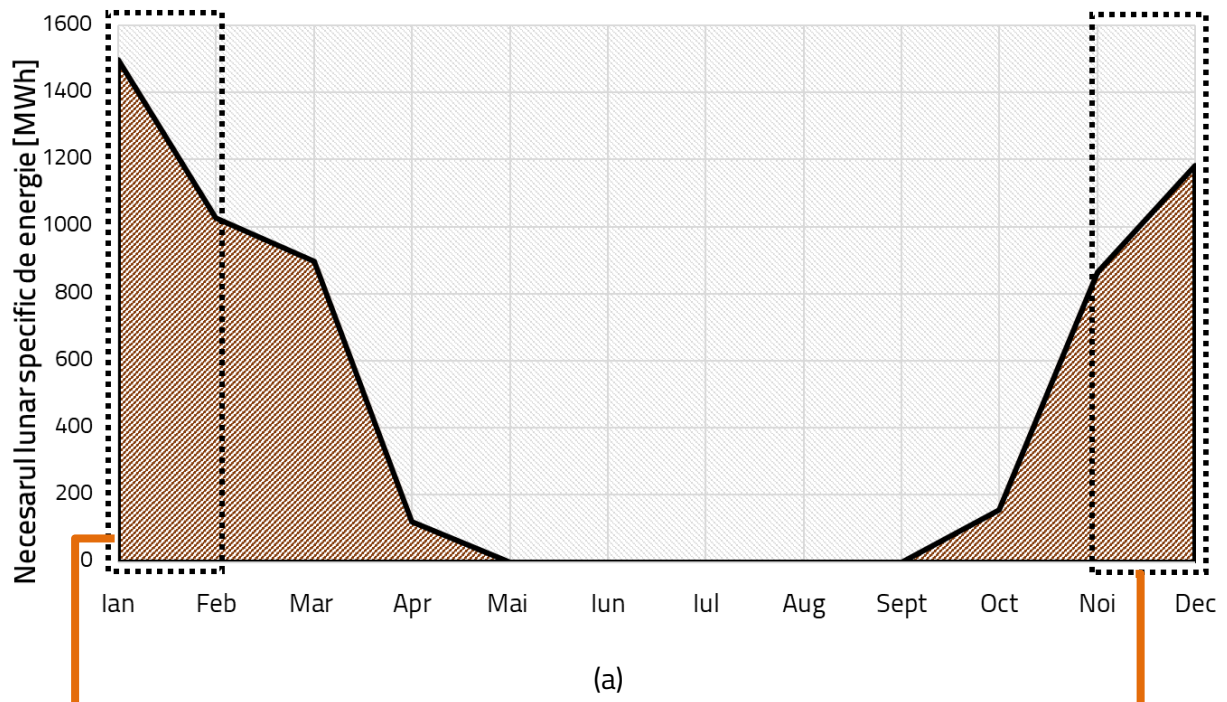


Figura 4.7. Simularea TRNSYS a necesarului de energie pentru mediul construit din cartierul Taberei, Mun. Odorheiu Secuiesc: (a) pe durata unui an; analiză specifică pentru luna (b) ianuarie și (c) decembrie

#### 4.4.2. Necesarul de energie pentru apă caldă menajeră (ACM)

Necesarul de energie pentru ACM poate fi determinat analitic sau măsurat în locație așa cum a fost prezentat pe larg în subcapitolul 2.5. Simulările programelor de predicție generează consumul de energie la nivel orar/zilnic, funcție de un model (o curbă de consum orar) și de numărul de locuitori deserviți.

Datele studiului reflecta comportamentul impredictibil al utilizatorilor, existând utilizatori cu consumuri mult sub nivelul redus de confort (ex. 8 l/pers./zi față de 15 l/pers./zi), dar există consumatori care se afla la polul opus depășind bariera de confort sporit. Cu toate acestea media de consum a comunității selectate se afla la limita superioara a clasei de confort redus (22.75 l/pers./zi), aproape de confortul normal minim standardizat (30 l/pers./zi)

Indiferent de metodă aleasă, necesarul zilnic de energie este repartizat pe o curbă de consum. Pentru simulările în TRNSYS au fost selectate datele reale aplicate pe curba de consum (orară) teoretică. Din curba definită putem observa un necesar maxim de energie pentru prepararea ACM în intervalul orar 7:30-9:30 și echivalent în intervalele orare 10:30-13:30, respectiv 18:00-22:00. Pe de altă parte, necesarul la nivel de lună și an (figura 4.8.a) arată constanța și predictibilitatea necesarului de energie pentru prepararea ACM

#### 4.4.3. Potențialul energetic solar

Potențialul energetic solar care să poată acoperi necesarul de energie termică reprezintă a doua mare categorie de informații ca date de intrare în strânsă legătură cu mediul construit analizând suprafețe disponibile pentru proiect (șarpante, terase, fațade, terenuri), poziționarea față de punctele cardinale și gradul de umbrire a sistemului proiectat (funcție de alte clădiri sau structuri geografice) în conformitate cu planul urbanistic general.

Analiza, în primă fază, constituie simularea datelor meteorologice la nivel de an, așa cum este arătat în figura 4.9.a și la nivel de lună (figura 4.9.b și c) pentru o comunitate dată (ex. Municipiu Odorheiu Secuiesc), simulând în timp real, instantaneu, fluxul radiației solare disponibile.

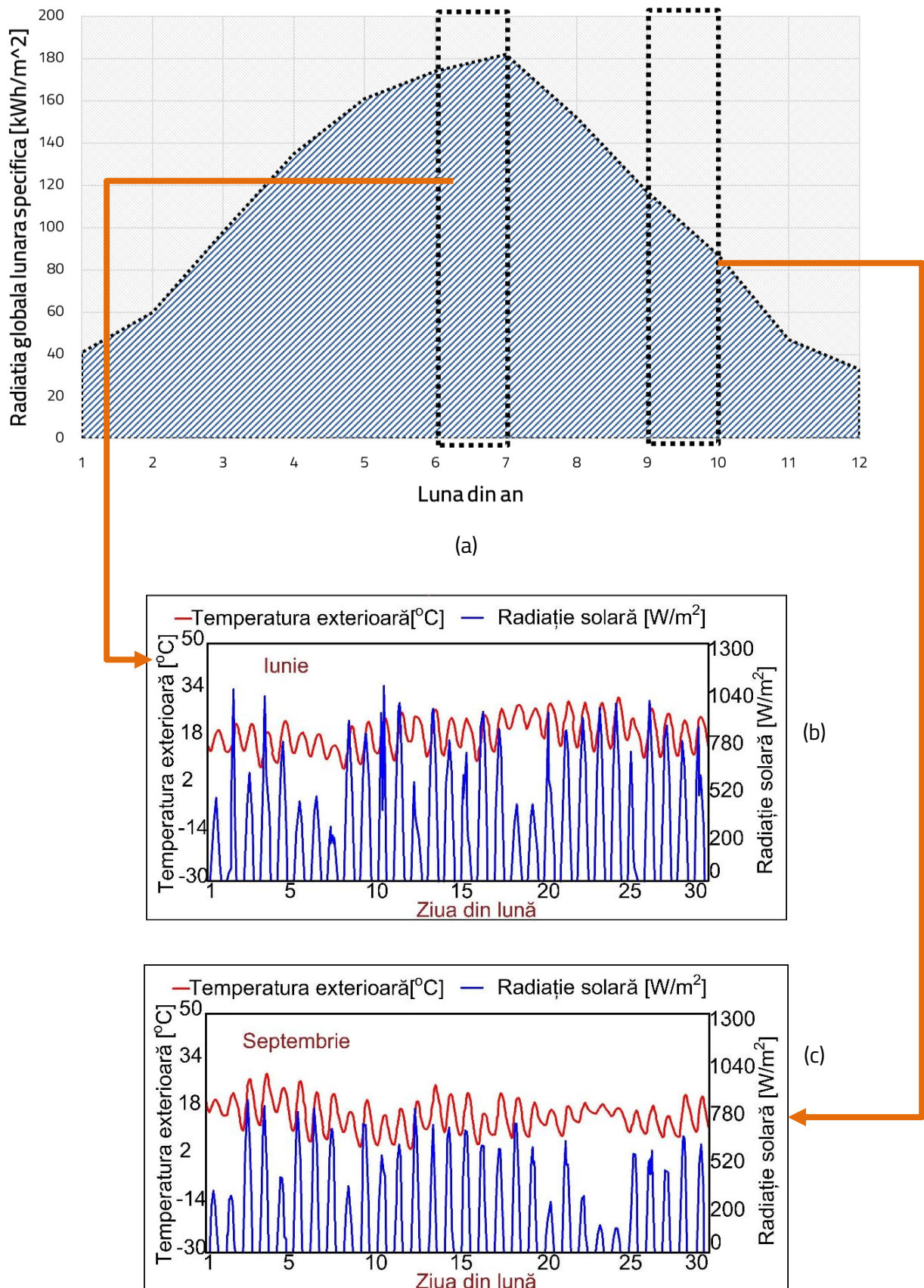


Figura 4.9. Simularea TRNSYS a potențialului energetic solar pentru mediul construit din cartierul Taberei, Mun. Odorheiu Secuiesc: (a) pe durata unui an; și la nivel de lună (b) Iunie și (c) Septembrie



#### 4.4.4. Potențialul energetic al biomasei

Determinarea potențialului energetic al biomasei așa cum a fost definit în subcapitolul 3.3, depinde de identificarea în amplasament a tuturor suprafețelor de păduri disponibile comunității din care o parte semnificativă reprezintă biomasa deșeu de pădure ce poate fi utilizată direct. O altă componentă de biomasă disponibilă este considerată o fracție din cantitatea de lemn recoltată pentru procesare (ex. fabrici de mobilă) care este considerată deșeu rezultat în urma procesării.

Ultima categorie de biomasă lemnoasă este constituită prin identificarea suprafețelor de culturi energetice disponibile proiectului sau suprafețe care pot fi puse la dispoziție pentru plantarea de culturi energetice.

Un exemplu de calcul al energiei anuale disponibile proiectului, realizată în baza ecuațiilor definite în capitolul 3, este arătat în tabelul 4.2. Putem observa că pentru municipiul Odorheiu Secuiesc potențialul energetic al biomasei este de aproximativ 27.300 MWh/an cu posibilitatea extinderii până la aproximativ 57.000 MWh/an, dacă s-ar exploata toate suprafețele cedabile în acest scop.

Tabelul 4.2. Determinarea potențialului energetic al biomasei pentru Odorheiu Secuiesc

	Suprafață	Deșeuri	Deșeu procesare	Cantitate totală	Valoare energetică
	[ha]	[tone/ha]	[tone/ha]	[tone]	[MWh]
Păduri ale comunității	6.466,80	1,06	0,42	9.570,86	26.578,29
Culturi energetice existente	21,40	12,80		273,92	760,68
Culturi energetice potențiale	856,80	12,80		10.967,04	30.455,47

#### 4.5. Schema proiectului tehnic (prototip)

Schema generală a sistemului hibrid, figura 4.9, se bazează ca sursă de energie pe cele două circuite de producere a energiei termice, respectiv circuitul colectoarelor solar-termice și circuitul cazanului de conversie a biomasei, iar pentru distribuția energiei se bazează pe circuitul de distribuție a energiei termice și pe circuitul pentru ACM. Fiecare circuit este dotat cu propriul sistem de pompare (P1...P5), cu schimbătoare de căldură pentru izolare (SCP1...SCP4) cu sisteme de colectoare-distribuitoare (DC1...DC2) iar sistemul de stocare asigură managementul utilizării corespunzătoare a resurselor disponibile.

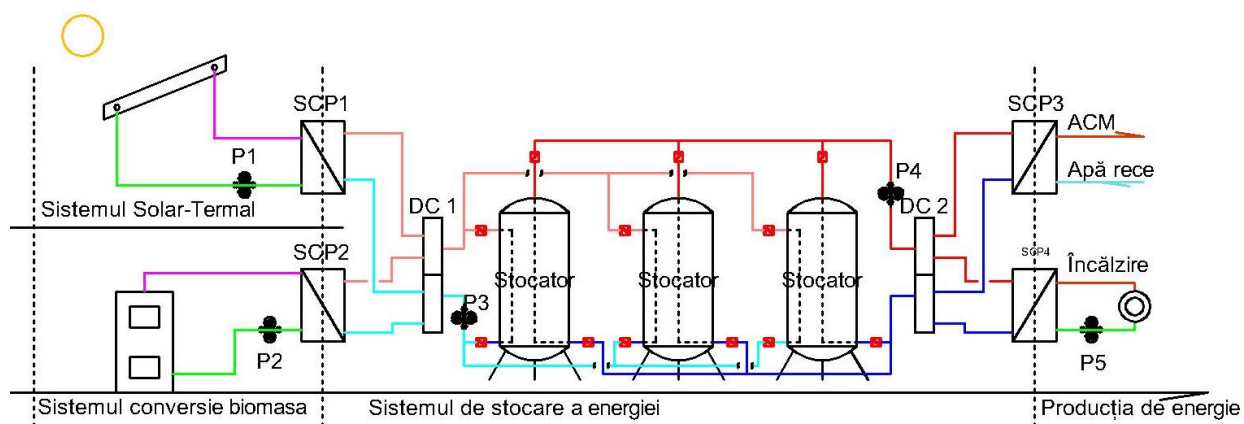


Figura 4.9. Schemă generală a sistemului hibrid [125]

Funcționalitatea sistemului este dată de potențialul energetic solar al locației. Principiul de funcționare este bazat pe nivele de prioritate, în funcție de energia disponibilă, de necesarul de energie și de capacitățile de stocare. Au fost simulate următoarele posibilități de funcționare:

- Prioritatea 1: **Producerea energiei termice în sistemul ST și livrarea energiei termice pentru prepararea ACM:** Acest mod de funcționare are prioritatea cea mai mare (fiind cel mai eficient) și se bazează exclusiv pe conversia energiei solare care este transferată sistemului de preparare ACM, fără a mai trece prin sistemul de stocare.
- Prioritatea 2: **Producerea energiei termice în sistemul ST pentru prepararea ACM și stocarea excedentului în sistemul de stocare:** Acest sistem este al doilea în ierarhia de prioritizare și constă în producerea de energie termică în colectoarele ST, energie care ulterior este transportată către sistemul de preparare a ACM, iar excedentul este stocat în rezervoare dedicate puse la dispoziție sau exportat în alte sisteme.
- Prioritatea 3: **Producerea energiei termice în sistemul ST și complementar în sistemul de conversie a biomasei:** Acest mod de funcționare va fi utilizat în perioadele în care nu este suficientă energie solară disponibilă (dar totuși poate fi un aport), iar diferența pentru acoperirea necesarului este asigurată de sistemul de conversie a biomasei. Acest tip de funcționare, este descris prin utilizarea tuturor componentelor și se bazează exclusiv pe sistemul de stocare, unde ambele sisteme vor descarcă energie și din care, în funcție de necesități, va fi extrasă energie în sistemele de preparare ACM și agent termic pentru încălzire.
- Prioritatea 4: **Producerea energiei termice exclusiv în sistemul de conversie a biomasei:** Acest mod de funcționare este considerat că situația cea mai dezavantajoasă, când nu este energie solară disponibilă pentru producerea în sistemul ST. Producerea de energie în sistemul de conversie a biomasei implică funcționarea prin intermediul rezervoarelor de energie, pentru echilibrarea variațiilor de temperatură generate de arderea fluctuantă a biomasei.

#### **4.6. Soluții tehnice de implementare**

Metodologia propusă are ca obiectiv proiectarea și optimizarea sistemelor hibrid solar-biomasă ce pot fi implementate la nivel de cartier, dezvoltând diverse scenarii de execuție. Este prezentată o analiză comparativă a tipurilor de soluții tehnice de dimensionare pornind de la proiecte individuale (pentru un bloc), proiecte cuplate de cvartal (pentru 2,5 și 10 blocuri) și proiecte de cartier (de 25 și 50 de blocuri). Această analiză, are la bază metodele dezvoltate în subcapitolele 3.2.5 și 3.2.6, permițând selectarea proiectului fezabil și acceptabil astfel încât sistemul hibrid solar-biomasă să poată utiliza infrastructură existentă (de producere și distribuție) pentru încălzirea locuințelor și prepararea ACM.

##### **Sistem colectoare solar termice**

Ținând seama de datele de intrare prezentate în subcapitolul 4.4 și locația analizată (cartierul Taberei), dimensionarea sistemului trebuie să respecte condiția de fezabilitate și eficiență luând în considerare următoarele:

Dimensionarea sistemului de conversie a energiei solare va ține seama de variantele posibile fiind identificate trei posibilități de implementare pentru comunitățile de locuințe [128], după cum urmează:

- montarea a câte **4-6 colectoare solar termice pe fiecare bloc** de apartamente (ex. 50 de blocuri în cazul comunității analizate): energia termică produsă va fi transportată la modulul termic

aferent fiecărei clădiri care va fi dotat cu cel puțin un rezervor de 1000 litri și cu un schimbător de căldură care să realizeze condiția circuitului închis pentru sistemul solar-termic.

- montarea **centralizată a colectoarelor solare pe unul din blocurile aferente cvartalului** de blocuri (de 2, 5 sau 10 clădiri) și extrapolarea sistemului până la incidența întregului necesar (a celor 50 de clădiri de deservit în cazul studiat). Energia termică produsă va fi transportată către un sistem de stocare (de 2000, 4000 respectiv 8000 litri) și transportată către blocurile din circuitul de cvartal printr-un set de conducte subterane ce vor trebui instalate;
- **montarea centralizată a colectoarelor solare pe centrala termică de cartier** și adițional pe blocuri sau alte spații din proximitatea acesteia. Tehnologia impune stocarea și distribuția agentului termic pentru încălzire și ACM ce poate fi realizată cu sisteme existente (rezervoare și conducte deja instalate), iar producerea de agent termic pentru încălzire și ACM se va realiza în sistem existent (la modulele de scară existente).

Sistemele de conversie a energiei solare se dimensionează în funcție de consumul zilnic sau în funcție de vârful de sarcină. De regulă se caută o mediere a acoperirii necesarului de energie din conversia energiei solare astfel încât să se realizeze un echilibru între dimensiunea sistemului/ansamblului de colectoare solar termice și energia în exces produsă pe perioadele de maxim (în sezonul de vară).

### **Sistem cazan biomasă**

Este de preferat ca sistemul de conversie a biomasei să fie utilizat în situația în care nu există suficientă energie solară pentru prepararea ACM și pentru prepararea agentului termic pentru încălzire. În acest sens dimensionarea cazanelor de conversie a biomasei trebuie să acopere atât necesarul de ACM cât și necesarul de încălzire, pentru situațiile de maximă cerere, asigurând astfel și soluția de rezervă în cazul nefuncționării sistemului solar-termic.

Analizând tehnologiile disponibile de conversie a biomasei, au fost identificate trei posibilități de implementare pentru comunitățile de locuințe, după cum urmează:

- **Cazane individuale:** această soluție tehnică implică montarea de cazane individuale, personalizate, pentru fiecare unitate locativă în parte. Acest mod de instalare necesită identificarea de spații disponibile, în cadrul condominiului (clădirii) care să poată fi puse la dispoziția proiectului pentru instalarea cazanului, a sistemului de alimentare cu biomasă și a sistemului de stocare a energiei.
- **Cazane pentru condominii cuplate (2 până la 10 blocuri):** Această soluție tehnică reprezintă o prima alternativă viabilă în condițiile posibilității conversiei infrastructurii disponibile. Soluția prevede instalarea unei centrale termice de cvartal pentru asigurarea energiei necesare și implică instalarea unuia sau mai multe cazane de conversie a biomasei, într-un spațiu special amenajat fie în proximitatea cvartalului sau în alte spații disponibile proiectului.
- **Centrala de cartier:** această soluție constă în convertirea sistemelor existente de preparare agent termic (puncte termice sau centrale termice de cartier) în centrale termice de cartier pentru conversia biomasei lemnoase. Soluția implică intervenții minime asupra infrastructurii de transport și preparare locală, dar impune conversia sistemelor actuale de producere a energiei termice.

## Rezervorul de energie

Pentru ambele situații posibile (stocarea individuală sau cea centralizată) capacitatea de stocare este limitativă în funcție de spațiul disponibil și de infrastructura pentru proiect. În orice situație, capacitatea de stocare determina soluția tehnică aplicabilă și este calculată ținând cont de 4 zone suprapuse pe verticală, pentru fiecare fiind definit un nod de temperatură de la intrare până la prepararea apei calde, începând din partea inferioară și până la partea superioară [129]. În fiecare etapă de calcul, pentru fiecare nod  $i=\{1... 4\}$ , se va determina temperatura „i” în conformitate cu ecuația 4.5. în raport de volumul de apă aferent  $V_{as}$  în perioada de timp selectată. În același timp variația finală de temperatură pentru nodul „i” este calculată cu ecuația 4.6 [13].

$$V_i \Delta T_i = V_{as} (T_{i-1} - T_i) \quad (4.5)$$

$$c_{p,a} V_i \frac{dT_i}{dt} = Q_{sol,i} + Q_{aux,i} + Q_{IE,i} - Q_{pierderi,i} \quad (4.6)$$

Unde:  $V_i$ =Volumul zonei calculate;  $T_i$ = Temperatura zonei calculate;  $Q_{sol,i}$ ,  $Q_{aux,i}$ ,  $Q_{IE,i}$ = Transferul de energie provenit de la sistemul solar, sisteme auxiliare și încălzitorul electric;  $Q_{pierderi,i}$ =pierderi de energie termică către mediul ambiant;  $c_{p,a}$ =capacitatea termică a apei stocate în rezervor.

În funcție de construcția rezervorului, utilizând metoda de calcul definită anterior, poate fi determinată cantitatea de energie termică ce poate fi stocată pe unitatea volumetrică, iar din simulări a rezultat faptul că pe durata întregului an capacitatea de stocare este relativ constantă în situația comunității analizate, situație în care stocatoarele de energie sunt în spații încălzite. Variațiile constatate sunt minore și datorate în special pierderilor dependente de temperatura mediului ambiant, în situația analizată stocatoarele fiind amplasate la interior.

### 4.7. Algoritm general

Optimizarea sistemului se bazează pe corectarea necesarului de căldură în funcție de consumul real și adaptarea acestuia la condițiile reale din amplasament.

La corectarea necesarului de energie termică pentru încălzire și ACM este necesară analiza consumului istoric pe o durată de cel puțin un an (de preferat 3 ani). Aceasta poate fi realizată prin măsurători folosind contoarele de energie atât la plecarea de la sursă (din centralele termice) cât și la intrarea în condominii (la scară blocurilor sau la intrarea în apartament). O altă metodă de analiză a consumului real se poate realiza prin analiză facturilor emise către utilizatori, prin consultarea bazei de date a furnizorului de energie termică și a furnizorului de apă necesară pentru prepararea de ACM.

Oricare dintre cele două metode de corectare a consumului de energie duce la o dimensionare corectată/optimizată a sistemului hibrid de producere a energiei termice.

Un alt demers deosebit de important pentru optimizarea sistemului este adaptarea la situația din teren, iar pentru acesta este necesară analiză amănunțită a infrastructurii disponibile. Starea conductelor de transport, a sistemului de pompare districtuală, a stațiilor/modulelor termice de preparare locală a energie etc., este determinantă în evaluarea posibilităților de instalare a sistemului hibrid.



În final a fost definită o diagramă (figura 4.14) cu algoritmul general de dimensionare a sistemului hibrid solar-biomasă pornind de la determinarea locației definirea mediului construit, integrând datele cu privire la dimensionarea sistemelor așa cum a fost arătat în figura 4.1 și funcție de existența rețelelor de încălzire districtuală și a spațiilor necesare pentru instalarea individuală sau de cvartal a sistemelor hibrid solar-biomasă sunt alese posibilitățile de instalare a acestora respectiv individuale, de cvartal sau de cartier.

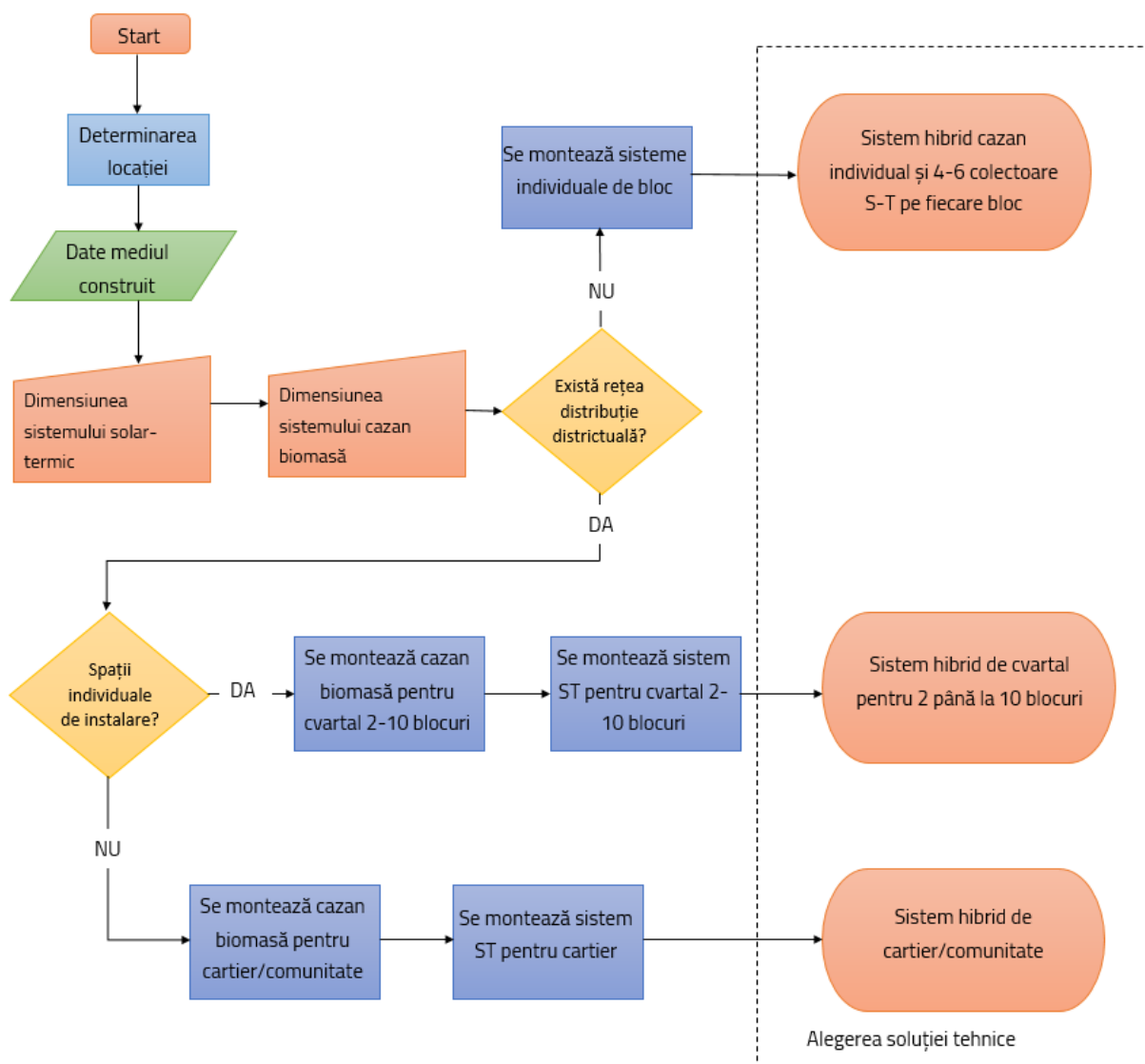


Figura 4.14. Algoritm general de dimensionare a sistemului hibrid solar-biomasă

#### 4.8. Metoda integrată de design și funcționare a sistemului Hibrid Solar Biomasă:

Cercetarea efectuată a permis elaborarea unei metodologii generale cuprinzând etapele necesare a fi parcurse pentru realizarea unui sistem hibrid solar-biomasă în cadrul unei comunități, pornind de la dimensiunea comunității până la asigurarea necesarului de energie termică pentru apa caldă menajeră și încălzire pe întreaga perioadă a anului. Aceste etape sunt detaliate în continuare.

##### Etapa 1: Colectarea datelor de intrare

Etapa costă în identificarea și colectarea datelor specifice locației, după cum urmează:

- a) **Datele meteorologice:** temperatura aerului exterior; temperatura exterioară de proiectare pentru iarnă; umiditatea relativă a aerului exterior; intensitatea radiației solare; viteza de referință a vântului.  
Acești parametri pot fi furnizați de o stație meteo locală (situația ideală) sau pot fi simulați de programe specializate (ex. Meteonorm). Ei constituie date de intrare pentru programele de simulare energetică și, oricare ar fi sursa de informații, acestea sunt relevante dacă au o frecvență de minim 7,5 minute (0,125 ore);
- b) **Parametrii tehnici ai construcțiilor:** suprafața construită, suprafața utilă, calitatea izolației, dispunere față de punctele cardinale, coeficienții de transfer termic și rezistențele unidirecționale specifice materialelor din care sunt realizate construcțiile, numărul anual de grade-zile specific locației, lungimea punților termice și coeficienții aferenți.  
Ei pot fi măsurați sau determinați prin încadrarea în anumite standarde naționale specifice (ex: MC001/2006 în România);
- c) **Numărul de consumatori** și comportamentul acestora (în special cu privire la consumul de apă caldă menajeră);
- d) **Consumul energetic înregistrat**, reprezentând istoricul măsurat/facturat de energie. Poate substitui datele de intrare (precizate la punctele b...c) în situația în care există un istoric de minim 3 ani care să reflecte că informațiile au un grad ridicat de încredere;
- e) **Infrastructura disponibilă**, cuprinzând tipurile de echipamente/instalații existente (sisteme de pompare, conducte, sisteme de stocare etc.) disponibile proiectului.

## **Etapa 2: Conceperea schemei de funcționare**

Schema de funcționare se bazează pe utilizarea a **4 circuite termice** (bucle), din care două pentru producerea energiei termice (circuitul colectoarelor solare și cel al cazanului pe biomasă) și două pentru distribuția energiei termice (circuitul pentru încălzire și cel pentru ACM), toate relaționând ca intrare și ieșire printr-un stocator de energie termică. Cele 4 circuite sunt:

- 1.Circuitul cazanului de conversie a biomasei** definit de tipul de cazan selectat (cu grătare, pat fluidizat etc.), dar și de regimul de funcționare, mai ales în situația în care aceste tipuri de cazane necesită durate semnificative de timp de la pornire până la atingerea parametrilor optimi de funcționare;
- 2. Circuitul colectoarelor solar-termice**, este definit de tipul colectorului solar adoptat, de tipul schimbătorului de căldură utilizat pentru izolarea circuitului primar (al colectoarelor) și de regimul de funcționare (temperatura admisibilă la care poate funcționa circuitul, preferabil în jurul valorii de 90 °C, pentru a maximiza stocarea energiei solare);
- 3.Circuitul de distribuție al energiei termice pentru încălzire** definit de consumul de energie raportat la suprafața specifică și funcționalitatea determinată de temperatura exterioară, de calitatea

mediului construit studiat și de instalațiile/echipamentele de distribuție a energiei termice aferente.

Circuitul de încălzire extrage energie termică din stocatorul de energie, prin intermediul unei pompe.

**4.Circuitul pentru ACM** definit de consumul de energie/volumul de apă caldă necesară raportat la numărul de locuitori și depinde în mare măsură de comportamentul acestora.

Este compus dintr-un circuit primar de preparare ACM prin intermediul unui schimbător de căldură și o pompa care extrage energie termică din stocator.

Prepararea apei calde se produce instantaneu (la cerere), de regulă prin intermediul unor module termice de preparare locală.

### **Etapa 3: Proiectarea sistemului hibrid**

Conceptul general pornește de la necesitatea utilizării surselor de energie regenerabilă (biomasă și solară), pentru asigurarea necesarului de încălzire și ACM pe întreaga durată a anului.

Schema generală de funcționare a sistemului hibrid se bazează pe cele două circuite de producere a energiei termice, respectiv circuitul sistemului solar și circuitul sistemului de conversie a biomasei. Fiecare din cele două circuite este dotat cu propriul sistem de pompare și cu schimbătoare de căldură pentru izolarea circuitelor.

Prin intermediul celor două schimbătoare de căldură este furnizată energia termică ce poate fi stocată în sistemul de stocare a energiei sau pompată direct prin distribuitor către schimbătoarele de preparare a apei calde menajere și a agentului termic pentru încălzire.

Este adoptată soluția utilizării schimbătoarelor de căldură, în special pentru buclele de producere a energiei, astfel încât să poată fi extrasă întreaga energie disponibilă, schimbătoarele putând funcționa la temperaturi ridicate.

Circuitul de stocare este prevăzut cu propriul sistem de pompare și poate avea capacități între 1 și 150 m<sup>3</sup> fiind format din unul sau mai multe vase care să respecte dimensiunile și proporțiile astfel încât să asigure stratificarea fluidului stocat, în funcție de temperatură.

Circuitele de preparare a ACM și încălzire sunt prevăzute cu schimbătoare de căldură, robinete de reglarea temperaturii în funcție de cerințele de confort și de sisteme individuale de pompare.

Funcționalitatea sistemului este dată de potențialul energetic solar al locației. Principiul de funcționare este bazat pe nivele de prioritate, în funcție de energia disponibilă, de necesarul de energie și de capacitățile de stocare. Au fost simulate următoarele situații funcționale:

- a) **Producerea energiei termice în sistemul ST și livrarea energiei termice pentru prepararea ACM:** Acest mod de funcționare are prioritatea cea mai mare (fiind cel mai eficient) și se bazează exclusiv pe conversia energiei solare care este transferată sistemului de preparare ACM, fără a mai trece prin sistemul de stocare.

- b) **Producerea energiei termice în sistemul ST pentru prepararea ACM și stocarea excedentului în sistemul de stocare:** Acest sistem este al doilea în ierarhia de prioritarizare și constă în producerea de energie termică prin intermediul colectoarelor ST, energie care ulterior este transportată către sistemul de preparare
- c) **Producerea energiei termice în sistemul ST și complementar în sistemul de conversie a biomasei:** Acest mod de funcționare va fi utilizat în perioadele în care nu este suficientă energie solară disponibilă (dar totuși poate fi un aport), iar diferența pentru acoperirea necesarului este asigurată de sistemul de conversie a biomasei. Acest tip de funcționare se bazează exclusiv pe sistemul de stocare, unde ambele sisteme vor descărca energie și din care, în funcție de necesități, va fi extrasă energie în sistemele de preparare ACM și agent termic pentru încălzire.
- d) **Producerea energiei termice exclusiv în sistemul de conversie a biomasei:** Acest mod de funcționare este considerat ca situația cea mai dezavantajoasă, când nu este energie solară disponibilă pentru producerea în sistemul ST. Producerea de energie în sistemul de conversie a biomasei implică funcționarea prin intermediul stocatoarelor, pentru echilibrarea variațiilor de temperatură generate de arderea fluctuantă a biomasei.

#### **Etapa 4: Implementare, monitorizare, mentenanța**

Implementarea sistemelor hibride solar-biomasă, în special cele adaptabile sistemelor de distribuție existente, se poate realiza etapizat. De regulă întâi se implementează și integrează circuitul de conversie a energiei solare prin intermediul colectoarelor solar-termice, care la rândul său poate fi etapizat, funcție de gradul de acceptanță și puterea de cumpărare a comunității (ex. în primă fază asigurarea ACM pentru 4 luni, apoi extinderea la 5 luni, etc).

Implementarea sistemului de conversie a biomasei se poate realiza independent de circuitul colectoarelor solar-termice, interconexiunea lor putându-se realiza după punerea în funcțiune.

Având în vedere durata de implementare (aproximativ 4-5 luni) este esențial ca aceasta să fie realizată pe durata sezonului cald, astfel încât necesarul de energie termică să fie minim, și să poată fi acoperit de sistemul de colectoare solar-termice.

Monitorizarea sistemelor va fi facilitată de aparate de măsură (sisteme de contorizare) și senzorialitatea privind parametrii de funcționare (temperaturi agent termic, temperaturi camera de ardere a cazanelor de conversie biomasă, status pompe, cantitate de energie în sistemul de stocare, etc.) generând un set de date de intrare și, ulterior, corelare în sistemul propriu de automatizare și control al sistemului hibrid solar biomasă, cu posibilitatea vizualizării și reglării de către operatorii furnizorului de energie termică.

Mentenanța sistemului hibrid solar-biomasă se va realiza ținând cont de două principii de funcționare:

- (i) **mentenanța intercurentă:** pentru cazanele de biomasă constând în curățarea schimbătorului, a camerei de ardere și a canalelor de fum – operație ce trebuie întreprinsă săptămânal; iar pentru sistemul colectoarelor ST constând în curățarea sticlei colectoarelor pentru menținerea captării radiației solare la capacitatea optimă.

- (ii) **reparații capitale și revizii anuale:** se vor realiza la intervale programate cu păstrarea unui sistem (biomasă sau solar) în funcțiune. Pe durata sezonului cald se vor realiza reparațiile pentru cazanele de conversie a biomasei (mecanismul de alimentare cu biomasă, schimbătorul de căldură, curățarea coșului de fum), iar în sezonul rece se vor realiza reparațiile la sistemul ST (înlocuirea colectoarelor cu sticle deteriorate, reparații la neetanșeități, pompe, etc)

#### 4.9. Concluzii și contribuții

În urma studiului privind conceperea dezvoltarea și optimizarea sistemului hibrid pentru o comunitate formată din locuințe colective au rezultat următoarele **concluzii**:

- a) În dezvoltarea conceptului sunt necesare pe lângă definirea comunității și a limitelor acesteia, date de intrare referitoare la (i) mediul construit și a caracteristicilor acestuia cu privire la eficiența și performanță care în final definesc necesarul de energie pentru încălzire și preparare a apei calde menajere și (ii) evaluarea potențialului energetic rezultat din culegerea datelor meteorologice specifice locației studiate precum și a suprafețelor de păduri și culturi energetice disponibile proiectului.
- b) În baza datelor de intrare se dezvoltă schema generală a sistemului în care se pun în evidență circuitele de producere energie termică (circuitul colectoarelor solar-termice și circuitul cazanului de conversie a biomasei) și circuitele de distribuție energie termică (încălzire și ACM).
- c) Prin simulare (TRNSYS) este necesară evidențierea necesarului de energie pentru încălzire și ACM și predicția producției de energie termică bazată pe potențialul solar și de biomasă astfel încât să acopere necesitățile.
- d) Schema proiectului tehnic depinde de definirea priorităților de funcționare (doar sistem S-T, sistem ST și stocare excedent, sistem ST și sistem cazan biomasă, sau doar cazan biomasă) și de definirea perioadei de funcționare cu prioritatea definită.
- e) Dimensionarea sistemului depinde de soluția adoptată pentru sistemul solar-termic (sisteme individual de bloc, sisteme de cvartal/condominii sau sisteme de cartier/comunitate) și a sistemului cazan biomasă (individual, condominii, cartier) de unghiurile de montaj (azimut, înclinare/tilt și diurn) selectate și de randamentele tehnologiei de conversie adoptate.
- f) Metoda integrată dezvoltată urmărind cele patru etape: colectarea datelor de intrare, conceperea schemei de funcționare, proiectarea sistemului hibrid și implemenarea acestuia, este scalabilă și replicabilă putând fi aplicată în orice comunitate, indiferent de locația acesteia.

Principalele **contribuții** se referă la:

- a) Elaborarea etapelor de dezvoltare a unui sistem hibrid solar-biomasă prin trasarea unei scheme logice de dimensionare.
- b) Definirea schemei generale de simulare și predicție cu circuitele de producere energie termică (colectoare ST și cazan biomasă) și circuitele de distribuție agent termic (încălzire și ACM).
- c) Definirea priorităților de funcționare a sistemelor în cadrul ansamblului hibrid biomasă-solar și a schemelor de funcționare aferente.
- d) Metoda de dimensionare funcție de necesarul de energie și potențialul solar-biomasă disponibil dar și de posibilitățile de montare și tehnologii disponibile.
- e) Definirea unui algoritm de dimensionare și a unei metode integrate de design pentru optimizarea sistemului funcție de posibilitățile de execuție și gradul de acceptanță.

## CAPITOLUL 5: STUDIU DE CAZ

Studiul se referă la transformarea unui sistem de încălzire districtuala bazat pe conversia surselor de energie fosilă (gaz natural), după reabilitare, într-un sistem hibrid bazat pe biomasă și energie solară.

În studiul de caz se iau în considerare clădirile de locuințe colective aferente cartierului Taberei din Municipiul Odorheiu Secuiesc, jud. Harghita, România.

Comunitatea (Cartierul Taberei) este amplasată în partea estică a orașului (46.3 °N și 25.3 °E la o altitudine de 385 m deasupra nivelului mării), având o populație de circa 5.700 locuitori în 1496 de apartamente, situate în blocuri cu regim de înălțime P+4E (70 buc), P+10E (16 buc). Prin sistemul de distribuție districtuala a agentului termic se asigura încălzirea și alimentarea cu apă caldă a **506 apartamente** (442 unit. în P+4E și 64 unit. în P+10E), pentru un număr de **1950 locuitori**, reprezentând aproximativ 30% din numărul total de utilizatori potențiali.



Figura 5.1. Plan de amplasament al cartierului Taberei din Municipiul Odorheiu Secuiesc

Etaplele de transformare a sistemului existent se bazează pe metodologia descrisă în capitolul 4 începând cu determinarea necesarului de energie termică pentru încălzire și preparare ACM și continuând cu identificarea și dimensionarea tehnologiilor de conversie a surselor de energie regenerabile pe subcomponente (solară și biomasă). Ulterior cele două tehnologii de conversie sunt integrate astfel încât să devină complementare și parte a acuiuși sistem.

### 5.1. Evaluarea necesarului de energie

Evaluarea necesarului de energie este realizată urmărind pașii dezvoltați în metodologia de calcul definiți în capitolul 2, diagrama TRNSYS de calcul a caracteristicilor mediului construit definită în figura 2.7 și metoda de calcul definită în diagrama de simulare a necesarului de energie pentru circuitele definite în figura 4.6 din capitolul 4. Astfel a fost evaluat mediului construit în ansamblul său prin definirea comunității, analiza caracteristicilor clădirilor din mediul construit deservit rezultând în final predicția necesarului de energie pentru încălzire și preparare ACM.

#### 5.1.1. Structura mediului construit

Evaluarea mediului construit poate fi întocmită după cunoașterea comunității în ansamblu. În consecință, în Municipiul Odorheiu Secuiesc la recensământul din anul 2011, au fost raportați 34.257 locuitori, populație în scădere față de recensământul din anul 2002, când au fost raportați 36.948 locuitori [130], scădere datorată, în principal, migrației locuitorilor către o mai bună competitivitate economică.

### Definirea limitelor comunității:

Metodologia prevede dezvoltarea sistemelor de conversie a energiilor regenerabile, etapizat în concordanță cu nivelul de acceptare al comunității și cu infrastructură disponibilă, astfel că pentru studiul de caz, definirea comunității propice în funcție de oportunitate este reprezentată de comunitatea de locuințe colective din cartierul Taberei.

Cartierul Taberei are în structura sa un total de 1496 apartamente ce ar putea constitui o comunitate integrabilă conform metodologiei prezentate. Având în vedere ca din cele 1496 apartamente existente în cartier, doar 509 apartamente au mai rămas conectate la sistemul de încălzire districtuală, comunitatea din studiu de caz va avea limita definită în funcție de locuințele conectate la sistemul de încălzire districtuală.

*În consecință, se definesc limitele comunității din studiul de caz la analiza celor 509 apartamente conectate la sistemul de încălzire districtuală și care deservește aproximativ 1950 de locuitori.*

#### 5.1.2. Necesarul de energie pentru încălzire

Având în vedere capacitățile sistemului de încălzire districtuala, necesarul de energie a fost determinat doar pentru locuințele/construcțiile racordate la sistemul centralizat (509 locuințe).

Calculul a fost realizat prin intermediul programului specializat TRNSYS Studio 17, utilizând schema proiectată și prezentată în capitolul 4, figura 4.6. În urmă rulării, au fost generate/simulate două tipuri de rezultate, respectiv cele generate utilizând metoda analitică și cele generate utilizând datele din facturi (perioada 2015-2017). Aceste date sunt generate la nivel de zi, iar apoi sunt exportate într-un format „.dat” sau „.xls”(figura 5.3.).

Necesarul pentru încălzire fost calculat utilizând diagrama TRNSYS pentru definirea caracteristicilor mediului construit definită în capitolul 2, figura 2.7 și comparată cu datele din facturile utilizatorilor, rezultând pentru studiul de caz (509 apartamente, 1950 locuitori).

Analizând datele de intrare putem observa în figura 5.5 diferențe semnificative între necesarul de energie calculat și cel măsurat (ex. aproximativ 20% pentru necesarul de încălzire), ceea ce validează recomandarea privind dimensionarea în funcție de datele măsurate în teren.

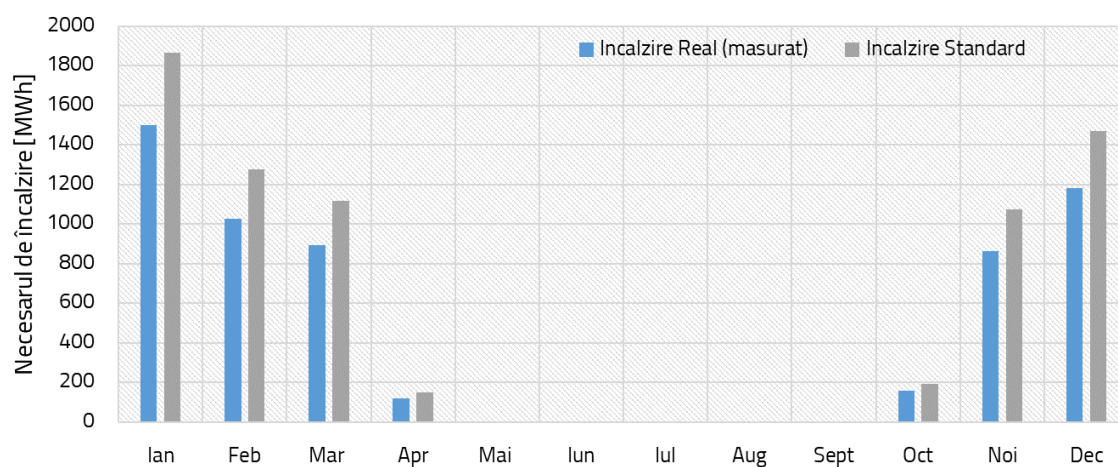


Figura 5.5. Necesarul lunar pentru comunitatea studiată



### 5.1.3. Necesarul de energie pentru apa caldă menajeră

Necesarul de apă caldă menajeră a fost estimat în concordanță cu metoda prezentată în subcapitolul 4.4.2, predicțiile TRANSYS utilizând pe de o parte standardele în vigoare (ASHRAE și EN 806-2), respectiv consumul normat mediu zilnic considerat fie 144 litri/apartament (ASHRAE), sau 35 litri/persoană (EN 806-2). Pe de altă parte a fost calculat necesarul de ACM ținând seama de consumul real înregistrat/facturat și livrat utilizatorilor în perioada 2015-2017. Astfel, pentru comunitatea selectată din carterul Taberei, valorile privind consumul zilnic, real de ACM subliniază o medie de 22,75 litri/persoană.

Datele studiului de caz reflectă, pe de o parte, comportamentul impredictibil al utilizatorilor, existând utilizatori cu consumuri mult sub nivelul redus de confort (ex. 8 l/pers./zi) sau consumatori mult peste definiția de confort sporit. Pe de altă parte studiul validează necesitatea de analiză a datelor din teren existând diferențe semnificative (peste 50%) între consumul energetic estimat analitic și cel măsurat, situație care duce la supra-dimensionarea sistemelor de producere a energiei aferente.

### 5.1.4. Concluziile analizării necesarului de energie

Analiză distribuției necesarului de energie în funcție de lunile anului (figura 5.6) arată fluctuațiile între consumul aferent anotimpului friguros față de sezonul cald, ceea ce conduce la necesitatea dimensionării a două sisteme diferite care să funcționeze sezonier.

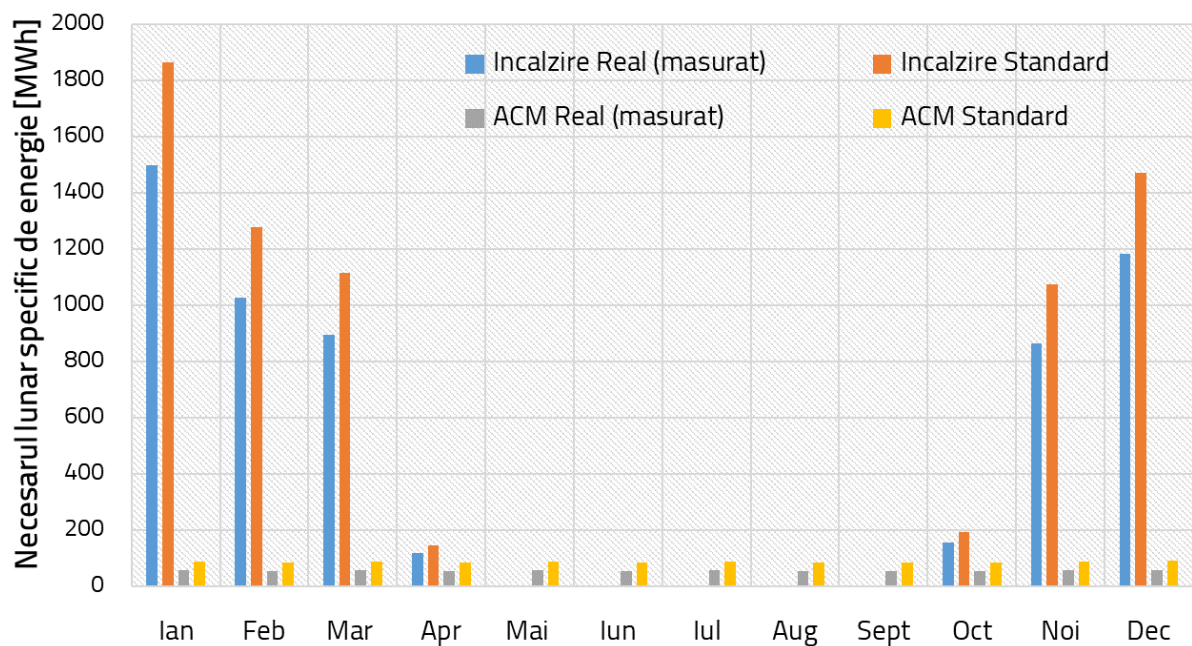


Figura 5.6. Distribuția necesarului specific lunar de energie

Evaluarea cantitativa (tabelul 5.6) arată diferențele dintre modul de calcul standard față de predicțiile bazate pe date culese din teren unde a doua situație poate genera evitarea supradimensionării tehnologiei de furnizare a energiei termice cu valori peste 25 % la nivelul întregului sistem în situația dimensionării sistemului solar termic ce va deservi necesarul de ACM.

## 5.2. Potențialul energetic

Potențialul energetic pentru studiul de caz este determinat luând în considerare biomasa lemnoasă disponibilă și energia solară disponibilă.



### 5.2.1. Potențialul energetic solar

Potențialul energetic solar în locația selectată a fost determinat prin intermediul programului Meteororm, determinând radiația solară (directă, difuză și globală).

În continuare prin intermediul softului TRNSYS Simulation Studio a fost generată la nivel de oră/zi/an predicția radiației globale pentru municipiul Odorheiu Secuiesc așa cum este arătată în figura 5.7.

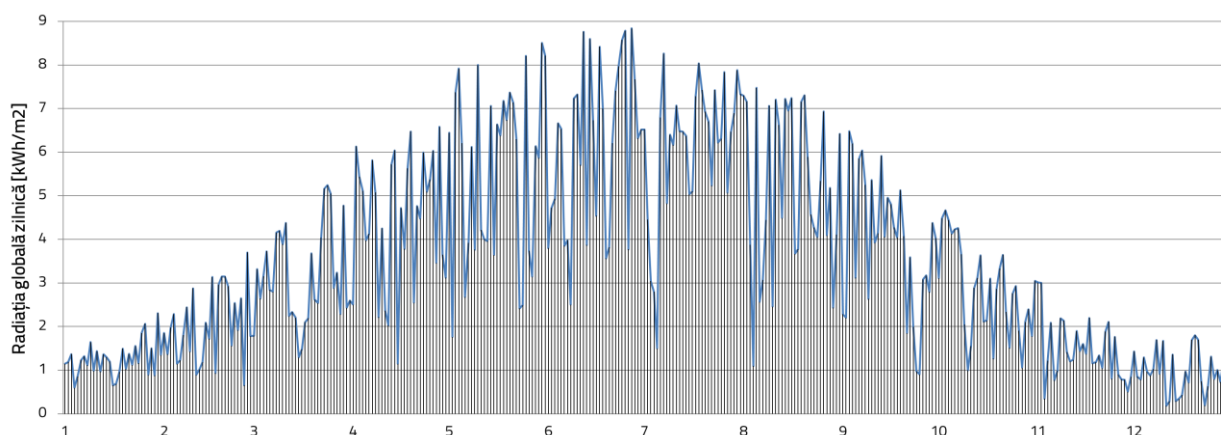


Figura 5.7. Predicția radiației globale la nivel de zi pe durata unui an în locația dată

În baza predicției privind radiația solară disponibilă în locație, ținând cont de caracteristicile tehnice ale colectoarelor solar-termice plan plate montate în condiții de amplasare avantajoasă (unghiuri de azimut  $\psi = 0^\circ$ , de înclinare/tilt  $\chi = 35^\circ$  și diurn  $\gamma = 0^\circ$ ), coroborat cu metoda de calcul definită în capitolul 4 și diagrama TRNSYS (figura 4.6) de predicție a energiei utile produse de astfel de sistem, a fost generată un grafic (figura 5.8) care trasează suprafața utilă a colectoarelor solar termice necesare pentru acoperirea integrală a necesarului de ACM măsurat pe durata întregului an.

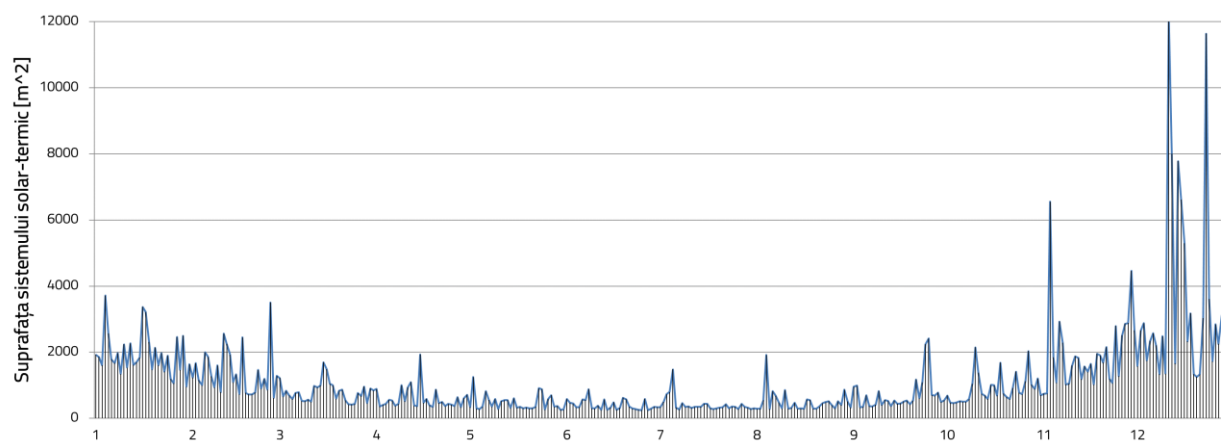


Figura 5.8. Calculul suprafeței sistemului ST la nivel de zi pentru acoperirea necesarului de ACM pe durata unui an în locația dată

Din figura 5.8 reiese în mod evident faptul că perioadele de iarnă (lunile decembrie...februarie) necesită suprafețe uriașe de colectoare solare (peste 1800 m<sup>2</sup>), iar în situația montării unor astfel de sisteme s-ar genera cantități imense de energie excedentară pe durata sezonului de vară. Un alt aspect poate fi constatat din posibilitatea identificării unei suprafețe medii cuprinsă între 400 și 1000 m<sup>2</sup> ce poate satisface necesitățile pe perioada lunilor aprilie...septembrie.

În baza datelor simulate se calculează, utilizând predicțiile TRNSYS conform figurii 4.6, suprafața teoretică pentru acoperirea necesarului măsurat de ACM așa cum este arătat în figurile 5.13 și 5.14.

Diferențele între suprafețele necesare în lunile de calcul sunt evidente, ținând seama în special de suprafețele necesare după data de 15 septembrie (figura 5.14.).

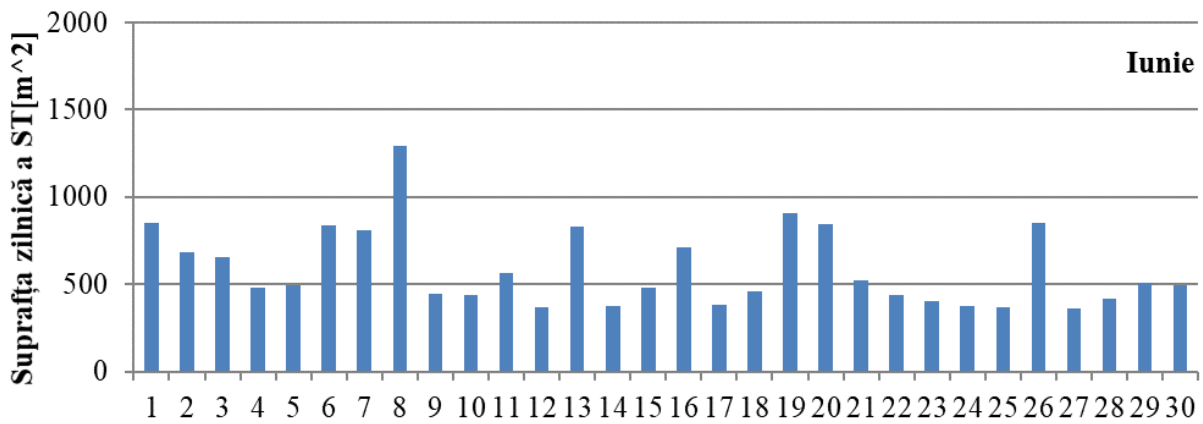


Figura 5.13. Suprafața teoretică pentru acoperirea necesarului de ACM în Iunie

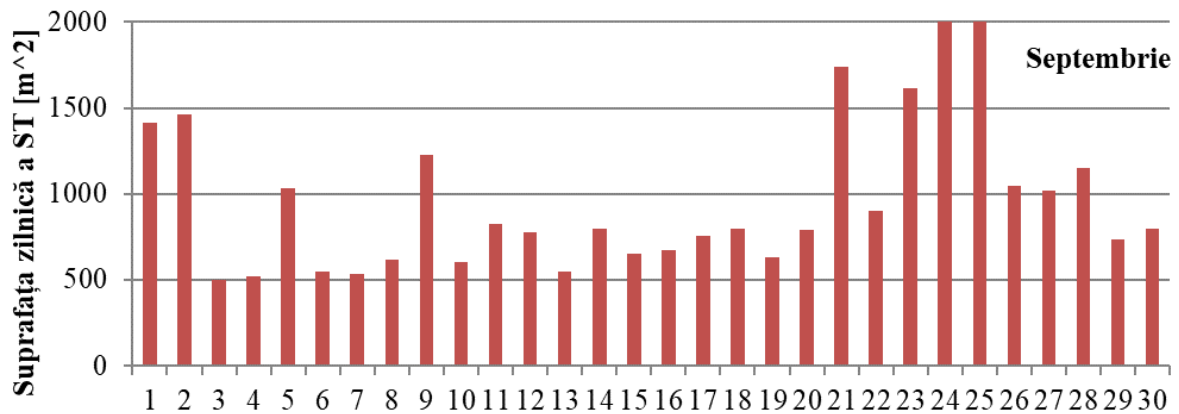


Figura 5.14. Suprafața teoretică pentru acoperirea necesarului de ACM în Septembrie

Chiar și pentru luna Iunie, rezultatele din figura 5.12. arată necesitatea instalării unor suprafețe mari (nefezabile) pentru acoperirea necesarului de ACM exclusiv cu colectoare ST. Soluția viabilă pentru acoperirea necesarului de ACM este instalarea de rezervoare de stocare a energiei capabile să asigure necesarul energetic pentru cel puțin 4 zile (ex. Perioada 6...8 iunie sau 23...26 septembrie).

Având în vedere simulările realizate este evident faptul că sistemul solar-termic poate acoperi necesarul de energie pentru prepararea ACM pe o durată limitată în funcție de energia solară disponibilă, astfel încât să nu genereze energie termică excedentară ce nu va putea fi folosită.

Din analiză reiese posibilitatea dezvoltării unui sistem de colectoare solar-termice care să acopere necesarul de ACM de la 3 luni (perioada 15 mai-15 august) până la 7 luni (perioada 15 martie – 15 octombrie) cu suprafețe de colectoare solar termice cuprinse între 500 și 850 m<sup>2</sup>.

### 5.2.2. Potențialul energetic al biomasei

Municipiul Odorheiu Secuiesc este localizat în zona montană (Munții Harghita, Carpați), fiind împrejmuirea de un vast areal forestier. Cele aproximativ 6.500 de hectare de pădure din proximitatea municipiității pot furniza din valorificarea deșeurilor (căzăturilor) de pădure însumate cu deșeurile rezultate procesării materiei lemnoase de către societățile de profil, aproximativ 9.500 tone de biomasă.

Potențialul actual al biomasei ce poate fi utilizată pentru conversia în energie termică este de aproximativ 27.300 MWh/an și poate fi extins prin dezvoltarea de culturi energetice până la aproximativ 57.000 MWh/an.

### 5.3. Proiect tehnic

O prima etapă în realizarea proiectului tehnic este analizarea separată a sistemelor pentru colectoarele solar-termice și pentru centrala pe biomasă. Ulterior cele două proiecte specifice sunt integrate pentru a forma sistemul hibrid solar-biomasă.

#### 5.3.1. Sistemul solar-termic

Proiectarea sistemului solar-termic, pentru studiul de caz se bazează pe analiza posibilității asigurării energiei pentru prepararea ACM folosind doar sisteme de colectoare ST pe durata sezonului cald, generând cinci scenarii posibile de implementat:

- **Scenariul 1:** asigurarea energiei pentru prepararea ACM pe o perioadă de **minim 3 luni** (15 mai – 15 august) și parțial în perioadele sezonului rece în combinație cu sisteme alternative pe biomasă.
- **Scenariul 2:** asigurarea energiei pentru prepararea ACM pe o perioadă de **minim 4 luni** (1 mai - 31 august) și parțial în perioadele sezonului rece în combinație cu sisteme alternative pe biomasă.
- **Scenariul 3:** asigurarea energiei pentru prepararea ACM pe o perioadă de **minim 5 luni** (15 aprilie - 15 septembrie) și parțial în perioadele sezonului rece în combinație cu sisteme alternative pe biomasă.
- **Scenariul 4:** asigurarea energiei pentru prepararea ACM pe o perioadă de **minim 6 luni** (1 aprilie - 30 septembrie) și parțial în perioadele sezonului rece în combinație cu sisteme alternative pe biomasă.
- **Scenariul 5:** asigurarea energiei pentru prepararea ACM pe o perioadă de **minim 7 luni** (15 martie - 15 octombrie) și parțial în perioadele sezonului rece în combinație cu sisteme alternative pe biomasă.

#### Prototip

Opțiunile de implementare pentru scenariile 1-5 se bazează pe consumul real de ACM. Potențialul energetic solar a fost determinat utilizând date meteorologice furnizate de programul Meteororm ca date de intrare pentru simulările realizate în software-ul TRNSYS. Soluțiile de proiectare sunt prezentate în tabelul 5.8., considerând specificațiile tehnice ale unui colector solar plan plat (CSPP) cu o suprafață activă de 2,1 m<sup>2</sup>:

Tabelul 5.7. Soluțiile tehnice

Scenariul	$A_{CSPP, calc.}^{*)}$ [m <sup>2</sup> ]	Cant. CSPP [buc]	$A_{CSPP, real}^{**)}$ [m <sup>2</sup> ]	Suprafața de instalare [m <sup>2</sup> ]	Mod de stocare, [°C]	Volum stocare [m <sup>3</sup> ]	Cap. stocare [MWh]
1	562	267	560.70	780	95-75	35	4.79
2	620	295	619.50	850	95-75	45	6.26
3	678	323	678.30	900	95-75	60	8.47
4	787	375	787.50	1200	95-75	70	9.88
5	942	448	940.80	1400	95-75	80	11.11

<sup>\*)</sup>  $A_{CSPP, calc.}$ : Suprafața totală, calculată, a sistemului solar-termic; <sup>\*\*)</sup>  $A_{CSPP, real.}$ : Suprafața totală a colectoarelor solar termice; CSPP: colector solar plan plat

Indiferent de scenariu selectat, soluția tehnică ideală prevede adaptarea sistemului existent prin intercalarea unui set de schimbătoare de căldură astfel încât rezervoarele existente/adicionale să devină rezervoare de stocare și să poată funcționa la temperaturi ridicate (figura 5.18.), oferind posibilitatea utilizării întregului potențial de conversie [131].

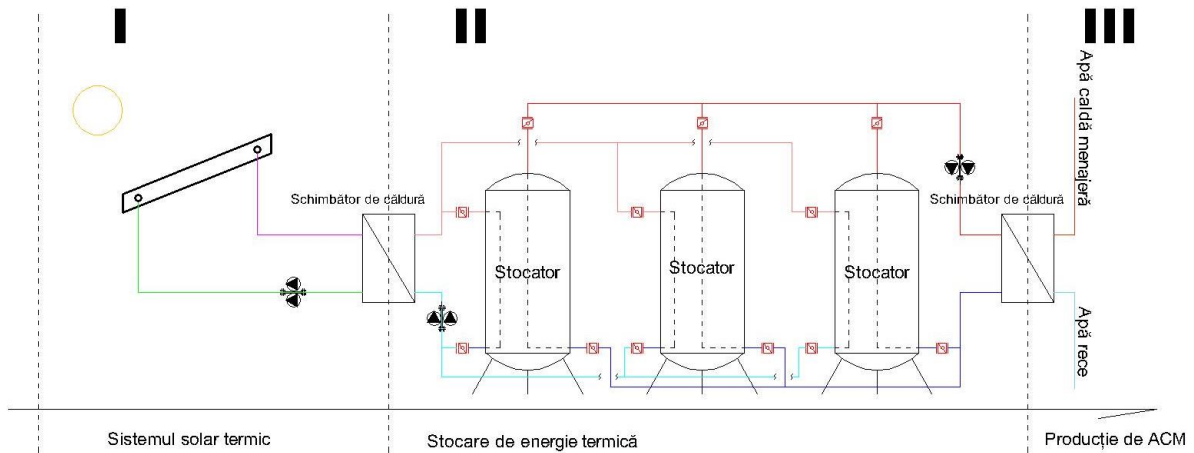


Figura 5.19. Schemă tip pentru intercalarea sistemului ST în instalații existente

Avantajul utilizării acestei scheme față de o schemă clasică a unui sistem solar-termic cu boiler este dat de posibilitatea stocării energiei termice prin intermediul unui agent termic secundar care poate atinge temperatura maximă de 95 °C și care, ulterior, prin intermediul schimbătorului de căldură prepară apa caldă menajeră necesară. Situația în care prepararea ACM se realizează direct în boiler impune limitarea stocării energiei până la limita maximă care poate fi utilizată întru-un circuit de apă caldă menajeră, respectiv maxim 60 °C .

Pentru studiul de caz amplasamentul ideal privind instalarea câmpului de colectoare solar-termice este considerat că fiind terasa centralei termice districtuale din cartier; asigurând astfel accesul facil și fără costuri suplimentare la sistemul de distribuție districtuală existent, însă acest amplasament are o suprafață limitată (900 m<sup>2</sup>). Pentru completare, suprafețe complementare sunt identificate prin utilizarea teraselor blocurilor din apropierea centralei termice și terenuri neutilizate din proximitatea acesteia. În orice situație orientarea câmpului de panouri solare va respecta condiția de amplasare avantajoasă, respectiv cu unghiul de azimut ( $\psi = 0^\circ$ ), unghiul de înclinare/tilt al panourilor solare ( $\chi = 35^\circ$ ) și unghiul diurn ( $\gamma = 0^\circ$ ).

În final este selectat sistemul propus în scenariul 3 (5 luni), 325 colectoare plan plate cu o suprafață utilă de 678,3 m<sup>2</sup>, necesitând o suprafață de instalare de aproximativ 900 m<sup>2</sup> disponibilă pe centrala termică existentă. Acest sistem poate fi ulterior extins la scenariul 4 (6 luni) definit de montajul a 375 colectoare plan plate cu o suprafață utilă de 787,5 m<sup>2</sup> prin extensia unor sisteme individuale montate pe terasele blocurilor din proximitatea centralei termice.

#### Analiza fezabilității și rezultate:

Costul de implementare reprezintă un factor important în creșterea nivelului de acceptanță a sistemelor solar-termice pentru prepararea ACM în comunități. Costurile cu investiția pentru fiecare

varianta (în concordanță cu soluțiile tehnice prezentate în tabelul 5.8.) conduc către rezultatele prezentate în tabelul 5.8. și arată faptul că fezabilitatea depinde de soluțiile identificate astfel încât să se intervină cât mai puțin în sistemele existente și de posibilitatea exportării surplusului de energie către comunități din proximitate sau către alte industrii (ex. uscătoare de fructe, uscătoare de masă lemnoasă, etc.). Acest aspect este îndeosebi posibil pentru scenariile 3...5, datorită suprafețelor ST mari instalate care generează cantități mari de energie în surplus.

*Tabelul 5.8. Datele financiare ale scenariilor ce pot fi implementate*

Scenariul	Costul investiției [EUR]	Producția anuală de en. [kWh]	Surplusul anual de en. [kWh]	Surp. maxim lunar de en. [kWh]	Timp de recuperare a inv. [an]	Timp de recuperare cu valorificarea surplusului [an]
1	271.525,40	462.504,31	3.388,60	3.388,60	11,00	10,90
2	291.864,21	496.251,51	15.280,80	4.740,52	10,80	10,50
3	303.785,30	547.121,58	38.612,10	6.311,25	10,80	10,10
4	357.288,31	606.822,64	67.312,31	7.901,11	12,00	10,70
5	491.923,00	724.995,92	150.418,57	15.480,25	15,50	12,30

Având în vedere rezultatele, **scenariul 3 este considerat fezabil**, cu posibilitatea extinderii către Scenariul 4 în funcție de posibilitățile financiare ale comunității. Această selecție este motivată de perioada acceptabilă de recuperare a investiției (considerând 5,5 eurocenți/kWh prețul de vânzare al energiei termice produse pentru prepararea ACM), corelat cu cerințele preliminare (5, respectiv 6 luni pentru furnizarea ACM exclusiv de la sistemele solar-termice) și de exportul de energie termică.

Rezultatele confirmă necesitatea instalării de rezervoare de stocare a energiei, iar situația ideală este adaptarea unor sisteme de stocare existente așa cum a fost realizat pentru studiul de caz (exemplu în figura 5.23).

Sistemele solar termice prezentate prin scenarii pot îndeplini cerințele privind acoperirea necesarului de energie pentru prepararea ACM, în special în sezonul cald, ceea ce conferă sistemului hibrid posibilitatea de a funcționa două sisteme diferite care să deservească necesarul de energie în funcție de sezon.



(a)



(b)

*Figura 5.23. Adaptarea unui sistem ST la infrastructură existentă*



Soluțiile tehnice (scenariile 3 și 4), în comparație cu alte valori raportate în literatură [132], se încadrează în valorile acceptate: între 1,2 și 2,1 m<sup>2</sup> suprafață utilă a sistemului solar termic raportat la o locuință. De asemenea, analiza economică (costul investițional cuprins între 600 și 1000 de euro per locuință) coroborat cu durata de recuperare a investiției (de la 8 la 13 ani) poate fi comparată cu situații similare regăsite în literatura de specialitate [77], [93], [132].

Bazat pe aceste rezultate sistemul solar-termic a fost dezvoltat pentru comunitatea din studiul de caz prin instalarea soluției definite de scenariul 3 cu adaptarea la infrastructura existentă așa cum este arătat în figura 5.23, utilizând în primă fază terasa centralei termice existente așa cum este arătat în figura 5.24.

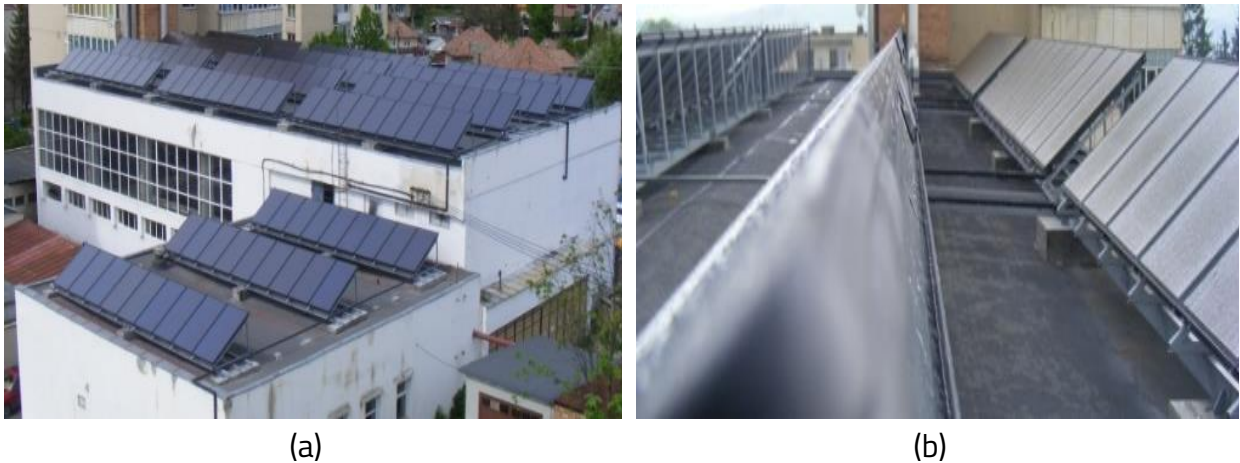


Figura 5.24- Vedere de ansamblu asupra sistemului ST realizat

Sistemul instalat este funcțional și a început să opereze. Rezultatele din teren prezentate în figura 5.25 validează metodologia de dimensionare, definind parametrii de optimizare a scenariilor prezentate.

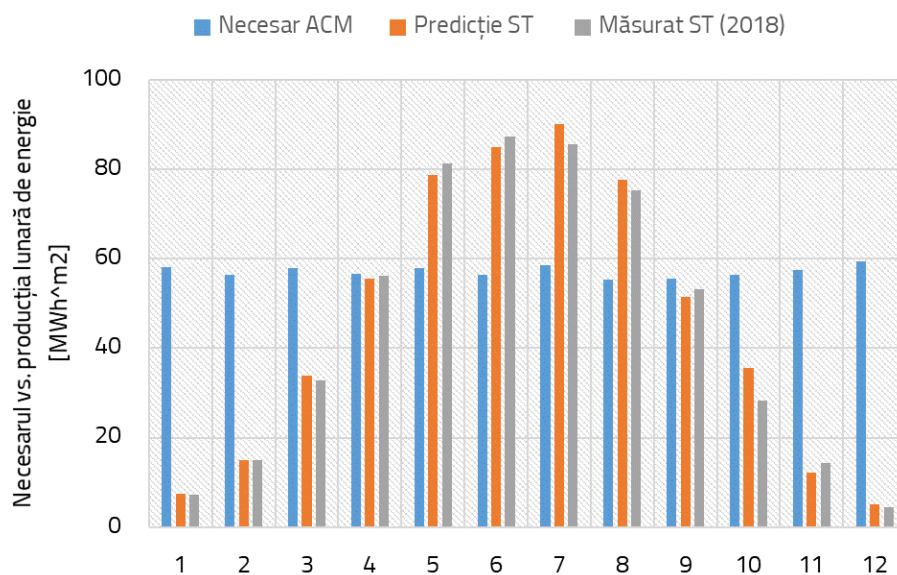


Figura 5.25. Producția de energie termică pe durata unui an

### 5.3.2. Centrala pe biomasă

Simulările privind predicția producției de energie termică din conversia biomasei, astfel încât să se acopere necesarul de energie termică au fost realizate în programul TRNSYS utilizând diagrama trasată în figura 4.6 și metodologiile descrise în capitolele 3 și 4.

Prima etapă în calculul de dimensionarea a fost analizarea la nivel de consum energetic zilnic a lunilor cu necesar maxim (figurile 5.26-5.28), respectiv lunile Decembrie, Ianuarie și Februarie.

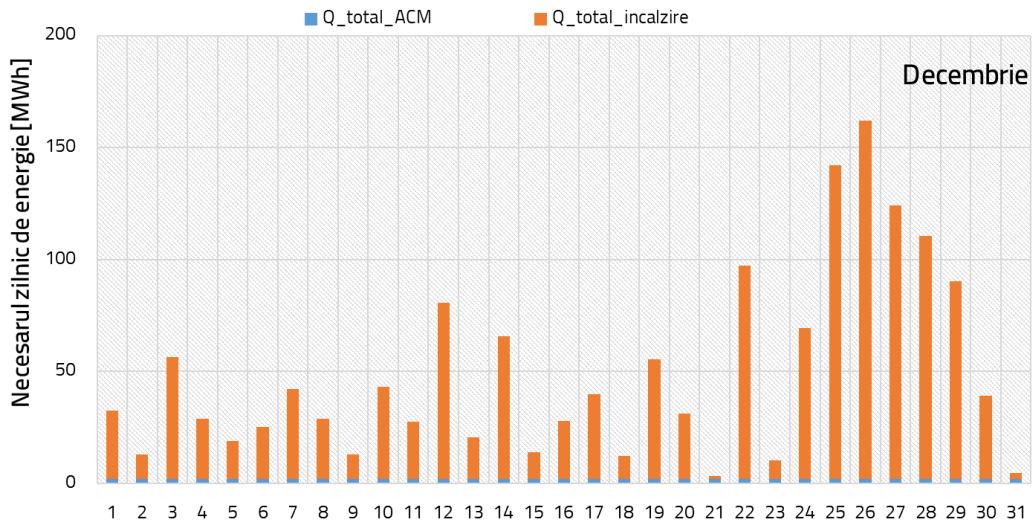


Figura 5.26. Necesarul total de energie în luna decembrie

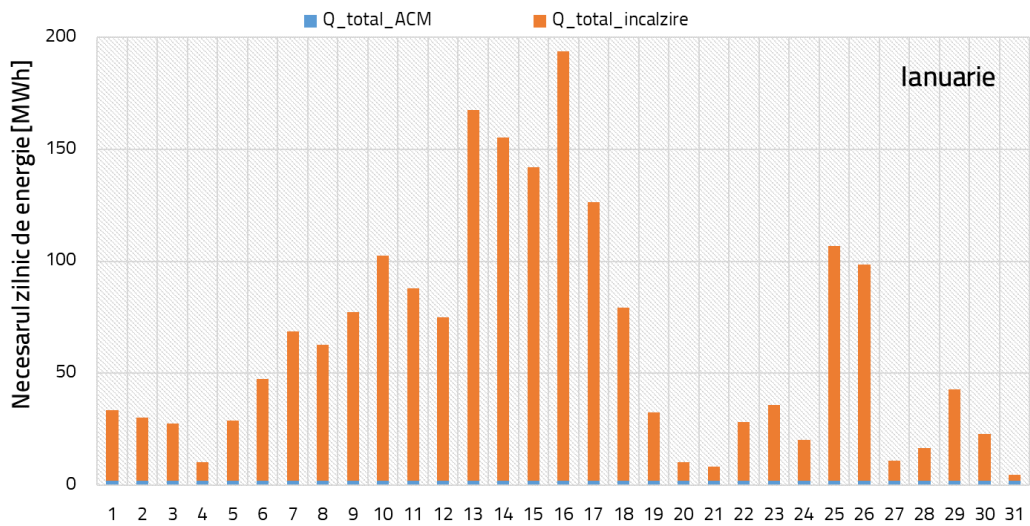


Figura 5.27. Necesarul total de energie în luna ianuarie

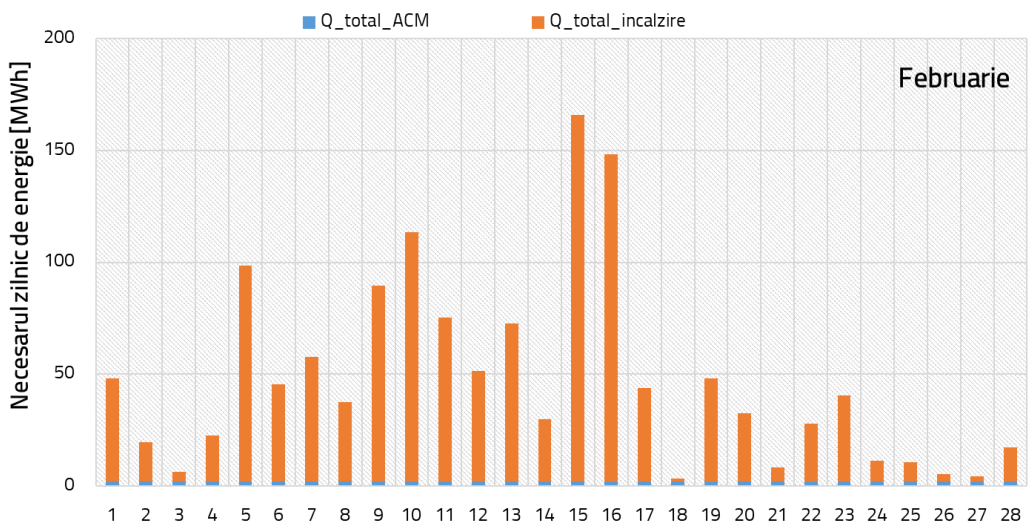


Figura 5.28. Necesarul total de energie în luna februarie

Analizând disponerea zilnică a consumului de energie putem observa ca există, la nivelul celor trei luni studiate, 8-10 zile de maxim (cu necesar de energie termică ce depășește 150 MWh/zi), iar restul zilelor sunt încadrate mediu între 20 și 100 MWh/zi.

Dimensionarea ține cont de acoperirea necesarului maxim având în vedere media zilelor critice din luna ianuarie (luna cu consum energetic maxim), respectiv perioada 7-27 ianuarie (1077 MWh în 20 de zile) și, utilizând metoda de dimensionare descrisă în capitolul 4, se optează pentru o centrală cu funcționare pe biomasă tocătură lemnoasă cu capacitate instalată de 4.000 kW, urmând ca în zilele critice să fie vârfurile de sarcină să fie acoperite prin compensare cu energia termică stocată în rezervoare.

Al doilea criteriu în dimensionarea centralei pe biomasă este asigurarea posibilității funcționării modulare astfel încât în situația unui necesar minim de energie, centrala să poată funcționa la randament maxim.

În studiu au fost simulate 3 scenarii, după cum urmează:

- **Scenariul 6:** montarea a 4 cazane x 1000 kW care să utilizeze tehnologia grătarelor mobile și instalația termomecanică aferentă, inclusiv sistem de rezervoare de acumulare a energiei;
- **Scenariul 7:** montarea a 2 cazane x 2000 kW care să utilizeze tehnologia grătarelor mobile și instalația termomecanică aferentă, inclusiv sistem de rezervoare de acumulare a energiei;
- **Scenariul 8:** montarea a 1 cazan x 4000 kW care să utilizeze tehnologia arderii în pat levitant și instalația termomecanică aferentă, inclusiv sistem de rezervoare de acumulare a energiei;

### Prototip

Dimensionarea centralei cu sub-componentele sale, a fost făcută ținând cont de necesarul de energie real măsurat. Scenariile au fost simulate ca date de intrare pentru proiectare (tabelul 5.9). Pentru alegerea echipamentelor din cadrul centralei termice au fost luate în considerare tipul de modulare al centralei, randamentul cazanului/cazanelor, capacitatea minimă de funcționare la randament optim pentru a putea determina modul de lucru pe durata sezonului cald și capacitățile minime necesare pentru stocarea energiei termice.

*Tabelul 5.9. Soluțiile tehnice pentru proiectul centralei cu funcționare pe biomasă*

Soluție tehnică	Tip cazan [kW]	Randament/ cazan [%]	Capacitate minimă de funcționare [kW]	Mod de stocare	
				Volum [m <sup>3</sup> ]	Capacitate [MWh]
1	4 x 1000	91	350	30	4,23
2	2 x 2000	90	600	50	7,05
3	1 x 4000	87	1200	100	14,1

Indiferent de scenariul ales soluția cea mai convenabilă o reprezintă intercalarea centralei termice pe biomasă în circuitul/instalația existentă de încălzire districtuală. Astfel o parte semnificativă din infrastructura existentă poate fi convertită și utilizată pentru eficientizarea proiectului.

Soluția cea mai facilă este, de a utiliza rezervoarele de compensare a energiei existente în infrastructură, ca rezervoare de compensare a energiei termice produse în centrala pe biomasă. Acest lucru este posibil prin intercalarea unui schimbător de căldură și a unui set de armături (figura 5.29)



care să gestioneze energia termică disponibilă în raport de necesar și să stocheze surplusul atunci când acesta este disponibil.

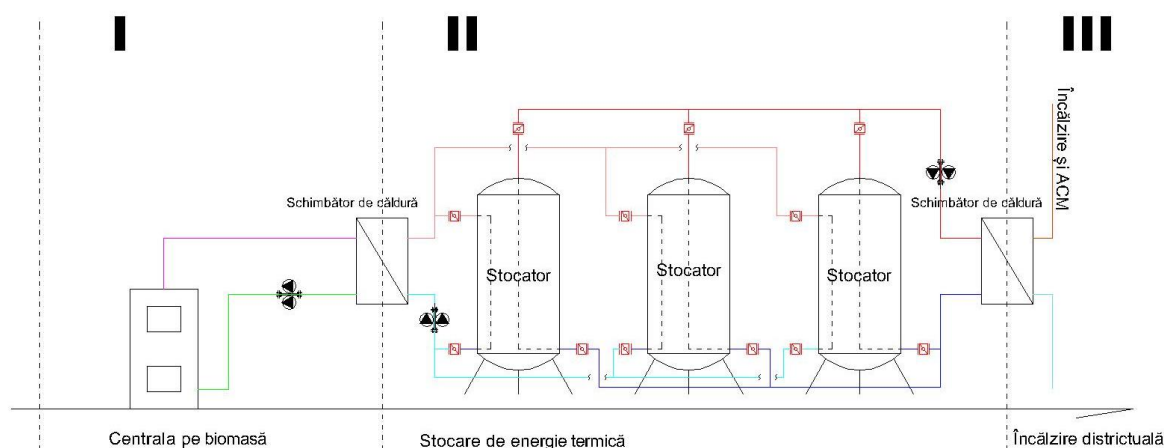


Figura 5.29. Schemă tip pentru intercalarea unei centrale pe biomasă în instalații existente

Un alt avantaj major în valorificarea infrastructurii existente este dat de posibilitatea utilizării stocatoarelor necesare centralei pe biomasă și în cazul sistemului solar termic, astfel investiția necesară amenajării acestor rezervoare poate fi amortizată accelerat.

#### Analiză fezabilității:

Costurile cu investiția pentru fiecare scenariu sunt prezentate în tabelul 5.10. și arată faptul că fezabilitatea depinde de soluțiile identificate astfel încât să se intervină cât mai puțin în sistemele existente.

Tabelul 5.10. Datele financiare ale scenariilor ce pot fi implementate

Scenariul	Costul investiției [EUR]	Producția anuală de energie livrabilă [MWh]	Timp de recuperare a investiției [an]
6	862.554,00	5.894	8,63
7	709.800,00	5.894	7,32
8	688.312,00	5.894	7,1

Având în vedere rezultatele, **scenariul 7 este considerat optim**, ținând seama de costul investiției, durata de amortizare (7,32 ani) dar și posibilitățile de funcționare cu randament maxim la capacitate minimă (600 kW față de puterea instalată 4000kW).

#### Optimizarea proiectării centralei pe biomasă și rezultate

În cazul centralei pe biomasă un element central în optimizarea sistemului constă în identificarea amplasamentului de instalare a acesteia astfel încât să nu deranjeze locuitorii comunității, crescând astfel gradul de acceptanță, dar să nu fie prea departe de comunitate pentru a reduce pierderile datorate transportului de energie termică până la aceasta.

Pentru studiul de caz a fost aleasă amplasarea cazanelor într-un spațiu al comunității (o clădire unde au fost garaje auto, figura 5.30.), locată în zona industrială din proximitatea cartierului Taberei, suficient de departe (aproximativ 500 m) de comunitatea de locuințe din cartier.



a)

b)

Figura 5.27. Spațiul identificat pentru amenajarea CT Biomasă: (a) exterior și (b) interior

Reconversia spațiului identificat și transformarea în clădire pentru centrală termică (figura 5.31) reprezintă prima etapă a implementării proiectului, urmată de adaptarea sistemului de încălzire districtuala la centrala pe biomasă prin conexiunea acesteia înainte de rezervoarele de stocare a energiei termice amplasate în stația de distribuție a încălzirii districtuale. Această adaptare constă în realizarea unei conducte preizolate de conectare în lungime de aproximativ 350 m.



(a)

(b)

Figura 5.32. Fotografii realizate în timpul execuției lucrărilor

Un alt aspect deosebit de important în dimensionarea centralei pe biomasă este spațiul alocat depozitului de alimentare automată cu biomasă lemnoasă (figura 5.33.), în studiul de caz acesta trebuie să îndeplinească condiția minimă de 700 m<sup>3</sup>, astfel încât să asigure funcționarea în automat pe o perioadă de minim 72 ore.



(c)



(d)



(e)



(f)

*Figura 5.33. Fotografii realizate în timpul execuției lucrărilor pentru realizarea depozitului de biomasă lemnoasă*

După identificarea spațiului a fost realizată proiectarea instalațiilor termomecanice (figura 5.34) aferente centralei termice cu funcționare pe biomasă și adaptarea acesteia la sistemul ST proiectat anterior, după cum urmează:

- Două cazane de apă caldă pe combustibil solid biomasă, tocătură de lemn;
- Puterea nominală 2000 kW, cu funcționare modulată  $P_{\min}=600$  kW,  $P_{\max}=2000$  kW;
- Randament nominal minim 91,0 % la puterea maximă;
- Randament nominal minim 90,0 % la puterea minimă;
- Agent termic produs apă caldă la 90/75 gr C.;
- Temperatura apei, maximă 95 gr C. ;
- Presiunea maximă 3,0 bar;
- Presiunea de probă 4,5 bar;





(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.34. Fotografii realizate în timpul execuției lucrărilor de instalare și montare a echipamentelor în sala cazanelor

Sistemul cazan biomasă a fost pus în funcțiune, iar operarea acestuia și măsurătorile realizate pentru producția de energie validează metodologia de dimensionare și predicție așa cum este arătat în figura 5.35.

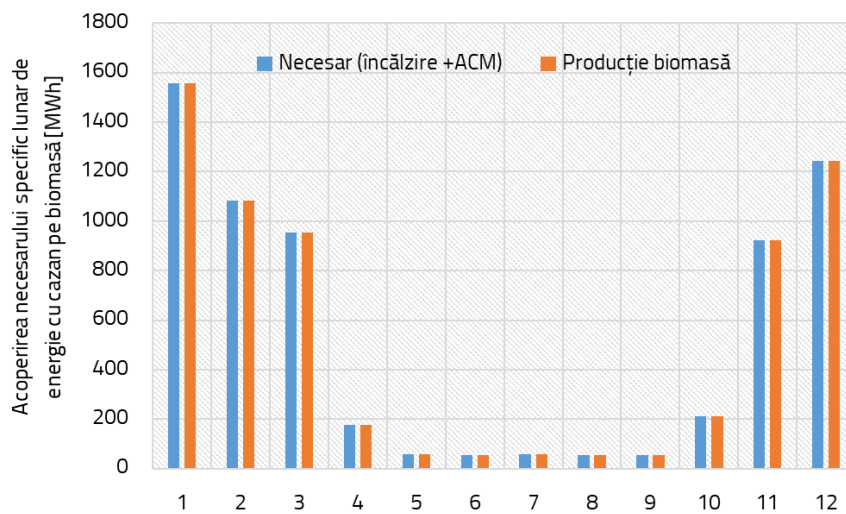


Figura 5.35. Producția de energie termică conform scenariului 7 pe durata unui an

### 5.3.3. Sistemul hibrid (biomasă-solar)

În baza infrastructurii disponibile și analizând în ansamblu necesarul de energie, ca o prima concluzie, beneficiarului i se propune dezvoltarea sistemului energetic al comunității, etapizat în funcție de consumatorii racordați la sistem, dat și în funcție de sumele disponibile de investit (figura 5.36.). Astfel etapizarea se va realiza după cum urmează:

- **Etapă I-** Realizarea, pe termen scurt, a unui sistem de preparare a apei cale menajere (**ACM**) **bazat pe colectoare solar-termice**, care va fi amplasat pe terasa centralei termice existente și în proximitatea centralei termice din cartierul Taberei astfel încât să asigure energia termică pentru prepararea apei calde menajere integral pentru sezonul de primăvară-vara, iar excedentul creat va fi exportat către alte comunități
- **Etapă II-** Realizarea, pe termen mediu, a unei **centrale termice cu funcționare pe biomasă** lemnoasă termice pentru asigurarea, complementar față de sistemul ST din etapa I, a întregului necesar de energie atât pentru prepararea apei calde menajere cât și pentru încălzire. Acest sistem va deservi întreaga comunitatea de locuințe racordată la sistemul centralizat de termoficare, din cartierul Taberei.

Prezentul studiu abordează posibilitatea asigurării de energie termică pentru cartierul Taberei, urmărind etapele de dezvoltare I și II, respectiv implementarea unui sistem solar-termic și a unei centrale termice de cartier cu funcționare pe biomasă.

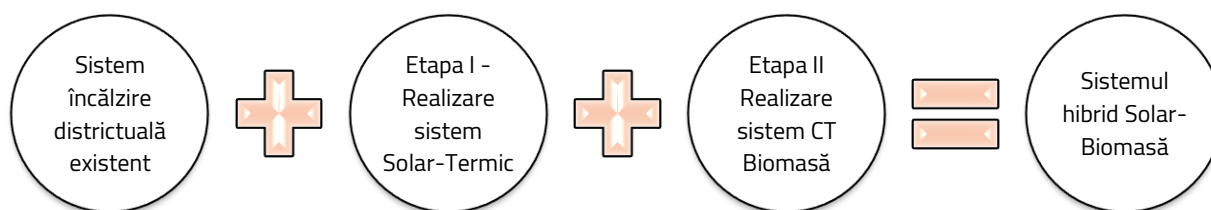


Figura 5.36. Posibilitățile de dezvoltare ale sistemului

#### Prototip

Soluțiile tehnice de implementare au fost identificate funcție de scenariile definite anterior (1..8) și se bazează pe consumul real de energie termică pentru încălzirea spațiilor și pentru prepararea ACM. Distribuția lunară/zilnică a consumurilor energetice, împreună cu datele meteorologice furnizate de programul Meteororm au constituit date de intrare pentru simulările privind dimensionarea și acoperirea necesarului de energie, realizate în programul TRNSYS Simulation Studio 17.

Ulterior, ținând seama de scenariile 3 și 4 definite pentru proiectarea în detaliu a sistemului solar-termic, coroborat cu scenariul 7 al sistemului centrală termică pe biomasă au fost generate soluțiile tehnice prezentate în tabelul 5.11.

Tabelul 5.11. Soluția tehnică pentru sistemul hibrid

Soluția Tehnică	Tip funcționare	Sistem solar-termic		Sistem biomasă		Mod de stocare	
		Nr. CSPP [buc]	Suprafața [m <sup>2</sup> ]	Tip	Depozit [m <sup>3</sup> ]	Volum [m <sup>3</sup> ]	Capacitate [MWh]
3	Mixt	323	678.3	2 x 2 MW	700	100	14,11
4	Mixt	375	787.5	2 x 2 MW	700	120	16,93

Indiferent de soluțiile tehnice adoptate, este imperios necesară adaptarea sistemului hibrid la soluția existentă, în special pentru sistemele de stocare prin convertirea vechilor rezervoare de stocare apă caldă, dar și pentru sistemele de pompare și transport prin adaptarea la stațiile de pompare și conductele existente.

Pentru studiul de caz au fost selectate terasa centralei termice de cartier, existente, pentru amplasarea colectoarelor solar-termice. Pentru instalarea cazanelor de conversie a biomasei a fost identificat un spațiu aparținând comunității, aflat în proximitatea centralei de cartier. Spațiul identificat a fost destinat pentru amplasarea centralelor termice și a depozitului de biomasă.

În acest caz, centrala nou amenajată are rolul de a produce și transporta agent termic la stația de distribuție a încălzirii districtuale existentă, unde, în funcție de necesar, se va utiliza pentru încălzire și preparare ACM sau va fi stocată în rezervoare.

### Analiza fezabilității

Analiza fezabilității este foarte importantă pentru creșterea gradului de acceptanță și pentru identificarea posibilităților de implementare. Așa cum a fost arătat anterior, timpii de recuperare a investiției, în cazul sistemelor solar-termice, sunt la limita acceptabilității și necesită identificarea de soluții pentru exportul surplusului de energie în cazul producției de ACM exclusiv prin sisteme solar-termice.

În tabelul 5.12. au fost analizate costurile investiționale pentru cele 2 soluții tehnice definite, ținând seama de producția anuală de energie, consumul anual de energie și energia excedentară produsă de sistemul solar-termic.

Tabelul 5.12. Datele financiare ale scenariilor ce pot fi implementate

Soluția	Investiție			Producția anuală de en.				Timp de recuperare a inv.		
	solar [EUR]	biomasa [EUR]	total [EUR]	totala [MWh]	solar [MWh]	biomasa [MWh]	surplus [MWh]	solar [an]	biomasa [an]	total [an]
1	358.472	736.200	1.094.672	6.446	574	5.872	17,37	11,35	7,61	8,53
2	416.255	736.200	1.152.455	6.467	606	5.860	37,69	12,47	7,59	8,83

Analiza datelor privind rentabilitatea, ținând seama de un cost mediu de vânzare al energiei termice de 5,5 eurocenți/kWh, relevă un timp de recuperare mai mult decât rezonabil în cazul sistemelor de conversie a biomasei (între 7,59 și 7,61 ani) ceea ce indică faptul că oricare din soluțiile alese (1...2), pentru conversia biomasei, este fezabilă. Mai mult, prin combinarea sistemelor solar-biomasă timpul de recuperare a investiției rămâne rezonabil (între 8,53 și 8,83 ani) cu recomandarea instalării soluției 1 și posibilitatea extinderii către soluția 2, având avantajul producției unei cantități de energie excedentară mai mică, datorat faptului că o parte din aceasta se poate utiliza pentru încălzirea spațiilor atunci când nu este necesară pentru producerea de ACM.

### Optimizarea proiectării sistemului hibrid solar-biomasă și rezultate

Suplimentar, față de optimizarea proiectării sistemului ST, pentru proiectarea sistemului hibrid se analizează aportul de energie furnizată de sistemul ST care poate fi utilizat în perioadele de necesar de încălzire, în special pentru lunile de tranziție (ex. aprilie și octombrie).

#### 5.3.4. Validarea rezultatelor

Pentru analiză, necesarul de energie pentru ACM și încălzire este considerat global, iar producția de energie provenită de la sistemul ST are prioritate pentru distribuția către utilizatori, în tabelul 5.13, figura 5.37 sunt prezentate distribuțiile de necesar și posibilitățile de producere a energiei, pentru studiul de caz.

Tabelul 5.14. Energia necesară și produsă

Luna	Necesar lunar		Producție energie Soluția 3			Producție energie Soluția 4		
	încălzire [MWh]	ACM [MWh]	Solar [MWh]	Biomasă [MWh]	Surplus [MWh]	Solar [MWh]	Biomasă [MWh]	Surplus [MWh]
Ian	1498,17	58,03	7,40	1548,80		8,20653	1548,00	
Feb	1026,79	56,32	14,93	1068,18		16,54532	1066,56	
Mar	895,83	57,82	33,83	919,81		37,49683	916,15	
Apr	119,23	56,64	55,49	120,38		61,49682	114,37	
Mai	0,00	57,97	78,79		20,82	87,31557		29,35
Iun	0,00	56,43	84,98		28,55	94,18574		37,76
Iul	0,00	58,59	90,02		31,43	99,76217		41,17
Aug	0,00	55,40	77,59		22,19	85,99007		30,59
Sept	0,00	55,59	51,43	4,16		56,99437		1,4
Oct	156,50	56,48	35,53	177,46		39,37495	173,61	
Noi	864,61	57,48	12,12	909,97		13,43425	908,66	
Dec	1182,15	59,49	5,23	1236,41		5,797711	1235,84	

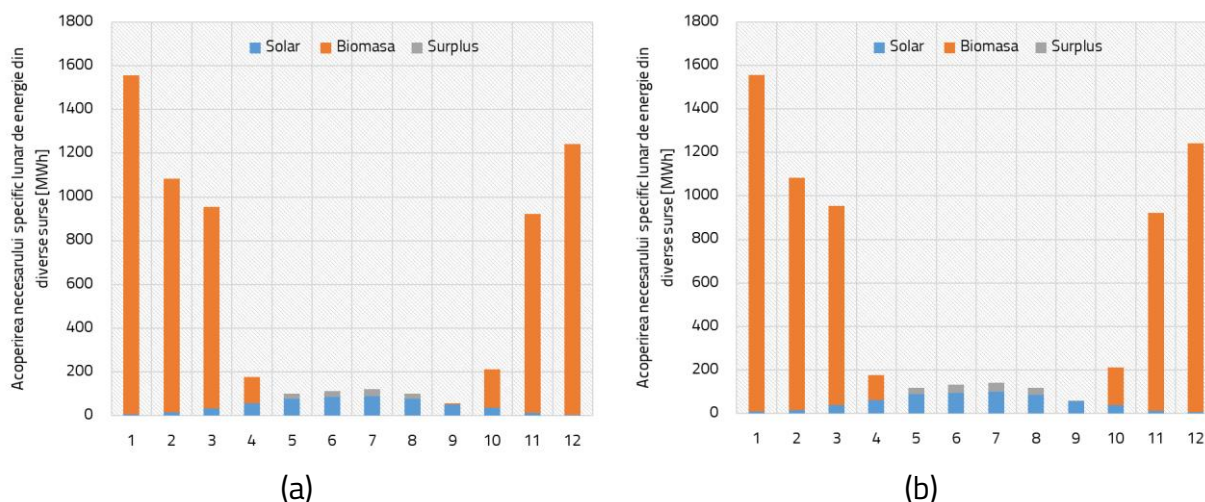


Figura 5.37. Energia necesară și produsă pentru (a) Soluția Tehnică 1 și (b) Soluția Tehnică 2

Oricare dintre cele două soluții selectate atinge parametrii solicitați respectiv utilizarea pe perioada sezonului cald a sistemului ST cu posibilitatea utilizării ca sistem de rezervă (back-up) sistemul de conversie a biomasei. Prin selectarea acestui tip de utilizare (cu aport la căldură) pe perioada de tranziție

scade surplusul de energie și deci se diminuează necesitatea valorificării acestuia prin export către alte comunități sau industrii.

### **5.3.5. Concluzii**

Metodologia prezentată poate fi scalată și replicată oricărui sistem similar, cu condiția existenței în amplasament a unei infrastructuri adecvate.

Sistemul hibrid solar-biomasă este fezabil atâta timp cât sunt respectate anumite proporții pentru utilizarea sub-sistemelor (solar-termic și biomasă). Este recomandat că sistemele solar-termice să fie dimensionate pentru conversia energiei solare pe durata sezonului cald, deci cu precădere pentru prepararea ACM.

Combinarea sistemului de conversie a biomasei lemnoase cu sistemul solar-termic într-o singură investiție, diminuează timpul de recuperare a investiției față de sistemele ST executate independent. Totodată asigurându-se și condiția de soluție alternative în caz de avarie.

## **5.4. Concluzii si contribuții**

În urma analizării datelor din studiul de caz rezultă **concluzii** referitoare la:

- a) Metodologia propusă aplicată pentru un caz concret duce la dezvoltarea și implementarea unui sistem hibrid solar-biomasă.
- b) Stabilirea necesarului de energie termică pornește de la definirea comunității prin limitele acesteia, structura mediului construit și caracteristicile de performanță ale acestuia.
- c) Necesarul de energie termică la nivel comunitate pentru încălzire și apă caldă menajeră folosind date reale măsurate în teren duce la diminuarea prin optimizare și personalizare a capacităților/dimensiunii sistemului hibrid solar-biomasă.
- d) Potențialul energetic solar simulat prin TRNSYS duce la dimensionarea la nivel de zi și lună a suprafețelor necesare de colectoare solare necesare pentru acoperirea predicției de consum energetic.
- e) Potențialul de biomasă este suficient, acoperind fără probleme și dezvoltări ulterioare pentru comunități similare.
- f) Analiza a 5 scenarii pentru asigurarea energiei pentru prepararea apei calde menajere din potențialul energetic solar duce la formularea soluțiilor tehnice aferente pentru acoperirea unui interval de la 3 la 7 luni pe perioada sezonului cald.
- g) Producția zilnică de energie asigurată de sistemul solar-termic este direct proporțională cu radiația globală disponibilă, existând zile în lună în care necesarul nu este acoperit, dar acest deficit poate fi acoperit prin stocarea excedentului de energie din zilele de maxim.
- h) Cele 3 scenarii pentru centrala pe biomasă duc la dimensionarea soluțiilor tehnice aplicabile în comunitatea studiată în special din perspectiva modulării capacității instalate și a capacității de stocare.
- i) În urma studierii fezabilității scenariul implementat este definit de montarea a 325 colectoare plan plate cu o suprafață utilă de 678,3 m<sup>2</sup> combinat cu o centrală termică pe biomasă formată din două cazane a câte 2 MW putere instalată.



- j) Scenariul propus asigură integral necesarul de energie termică având avantajul asigurării necesarului de energie pentru prepararea ACM pe o durată de 5 luni (în perioada 15 aprilie – 15 septembrie)

Principalele **contribuții** se referă la:

- a) Aplicarea metodologiei și a schemelor definite în programul TRNSYS într-un caz real pentru comunitatea din studiul de caz.
- b) Compararea necesarului de energie termică (măsurat vs. teoretic) la nivel de comunitate și validarea necesității utilizării datelor măsurate în teren.
- c) Aplicarea metodologiei de predicție a potențialului energetic solar și a calculului privind potențialul energetic din biomasă pentru un caz real.
- d) Dezvoltarea de scenarii și soluții tehnice aferente pentru asigurarea necesarului de energie aferent preparării de apă caldă menajeră pentru diferite perioade de timp.
- e) Dezvoltarea de scenarii și soluții tehnice aferente pentru conversia biomasei în energie termică.
- f) Analiza fezabilității pentru soluțiile tehnice descrise și alegerea scenariilor optime de dezvoltare a sistemului hibrid solar-biomasă
- g) Implementarea sistemului solar-biomasă propus în metodologie, pentru o comunitate într-un caz real, respectiv pentru cartierul Taberei din municipiul Odorheiu Secuiesc.

## **CAPITOLUL 6: CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE.**

Cercetarea efectuată extinde problematica utilizării surselor de energie regenerabilă, în special a sistemelor solar-termice și a celor de conversie a biomasei lemnoase, de la nivel individual la nivel de comunitate.

Abordarea problematicii pornește de la cunoașterea utilizării la nivel individual a sistemelor solar-termice folosind infrastructura, cunoașterea și rezultatele din cadru Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania (ICDT), în special cele ale Centrului de cercetare științifică Sisteme de Energie Regenerabilă și Reciclare (RESREC).

În continuare sunt prezentate principalele concluzii ale cercetării desfășurate, contribuțiile originale aduse prin această teză la cunoașterea în domeniu, diseminarea rezultatelor obținute și posibile direcții viitoare.

### **6.1. Concluzii finale**

Principalele concluzii pentru dezvoltarea sistemelor hibride bazate pe surse de energii regenerabile pentru asigurarea necesarului de energie termică în comunități mici sunt, după cum urmează:

- a) În marea lor majoritate, sistemele de producere a energiei termice într-o comunitate sunt actualmente bazate pe combustibili fosili, dar trendul, determinat și de legislație, este de a crește procentul de energie din surse regenerabile prin conceperea și implementarea de sisteme hibride (regenerabile + combustibili fosili) la nivel de comunități.
- b) Există la nivel European peste 200 de comunități în care sunt implementate sisteme hibride bazate pe energia solară și biomasă, identificându-se cinci modele de sisteme hibride (modelul danez, modelul suedez, modelul austriac, modelul german, modelul francez și polonez).
- c) Nu a fost identificată în literatură o metodologie de concepere și dezvoltare a sistemelor hibride de tip energie solară-biomasă pentru producerea de energie termică la nivelul unei comunități de locuințe colective, prin considerarea necesarului de energie, a potențialului de resurse, elaborarea de variante și alegerea celei optime.
- d) Recomandarea ca în dimensionarea sistemului solar-termic să se aibă în vedere datele reale, pentru a se evita supra sau subdimensionarea acestuia.
- e) Evaluarea potențialului energetic solar poate fi realizată prin simulare, pornind de la date generate de softuri specializate (ex. Meteororm) sau prin interpretarea datelor culese de la o stație meteo locală (acolo unde există).
- f) Predicțiile profilului climatic al comunității studiate bazate pe date meteo provenite din amplasament primează, mai ales în situația în care există un istoric, oferind posibilitatea dimensionării sistemelor solar-termice personalizate cu un reglaj fin al necesității.
- g) În lipsa operării unei stații meteo locale, sau pentru evaluare inițială a potențialului energetic solar, softurile de predicție meteo pot oferi informații cu un grad crescut de încredere (ex. Meteororm 2-5% abateri față de măsurătorile de la stația meteo).
- h) Maximizarea potențialului solar disponibil constă în alegerea tehnologiei optime de conversie și în alegerea unghiurilor de orientare a colectoarelor solare pentru captarea energiei solare.
- i) Pe lângă identificarea cantității de biomasă disponibilă, pentru evaluarea potențialului energetic al biomasei este necesară identificarea modalităților de conversie a biomasei lemnoase aplicabile.

- j) Soluțiile tehnice de ardere a biomasei depind funcție de mărimea comunității și implicit de dimensiunea capacității instalate. Pentru capacități între 0,5...8 MW se optează pentru cazane cu grătare mobile, iar pentru capacități mai mari de 10 MW se optează pentru cazanele cu ardere în levitație sau cele cu ardere în pat fluidizat.
- k) În baza datelor de intrare se dezvoltă schema generală a sistemului în care se pun în evidență circuitele de producere energie termică (circuitul colectoarelor solar-termice și circuitul cazanului de conversie a biomasei) și circuitele de distribuție energie termică (încălzire și ACM).
- l) Prin simulare (TRNSYS) se poate realiza simularea necesarului de energie pentru încălzire și ACM și predicția producției de energie termică bazată pe potențialul solar și de biomasă astfel încât să acopere necesitățile.
- m) Schema proiectului tehnic depinde de definirea priorităților de funcționare (doar sistem S-T, sistem ST și stocare excedent, sistem ST și sistem cazan biomasă, sau doar cazan biomasă) și de definirea perioadei de funcționare cu prioritatea definită.
- n) Dimensionarea sistemului depinde de soluția adoptată pentru sistemul solar-termic (sisteme individuale de bloc, sisteme de cvartal/condominii sau sisteme de cartier/comunitate) și a sistemului cazan biomasă (individual, condominii, cartier) de unghiurile de montaj (azimut, înclinare/tilt și diurn) selectate și de randamentele tehnologiei de conversie adoptate.
- o) Metoda integrată dezvoltată urmărind cele patru etape: colectarea datelor de intrare, conceperea schemei de funcționare, proiectarea sistemului hibrid și implemenarea acestuia, este scalabilă și replicabilă putând fi aplicată în orice comunitate, indiferent de locația acesteia.
- p) Metodologia propusă aplicată pentru un caz concret duce la dezvoltarea și implementarea unui sistem hibrid solar-biomasă.
- q) Necesarul de energie termică la nivel comunitate pentru încălzire și apă caldă menajeră folosind date reale măsurate în teren duce la diminuarea prin optimizare și personalizare a capacităților/dimensiunii sistemului hibrid solar-biomasă.
- r) Potențialul energetic solar simulat prin TRNSYS duce la dimensionarea la nivel de zi și lună a suprafețelor necesare de colectoare solare necesare pentru acoperirea predicției de consum energetic.
- s) Analiza a 5 scenarii pentru asigurarea energiei pentru prepararea apei calde menajere din potențialul energetic solar duce la formularea soluțiilor tehnice aferente pentru acoperirea unui interval de la 3 la 7 luni pe perioada sezonului cald.
- t) Cele 3 scenarii pentru centrala pe biomasă duc la dimensionarea soluțiilor tehnice aplicabile în comunitatea studiată în special din perspectiva modulării capacității instalate și a capacității de stocare.
- u) În urma studierii fezabilității scenariul implementat este definit de montarea a 325 colectoare plan plate cu o suprafață utilă de 678,3 m<sup>2</sup> combinat cu o centrală termică pe biomasă formată din două cazane a câte 2 MW putere instalată.
- v) Scenariul propus asigură integral necesarul de energie termică având avantajul asigurării necesarului de energie pentru prepararea ACM pe o durată de 5 luni (în perioada 15 aprilie – 15 septembrie)

## **6.2. Contribuții originale**

Contribuțiile originale aduse prin această teză la cunoașterea în dezvoltarea sistemelor hibride bazate pe surse de energii regenerabile pentru asigurarea necesarului de energie termică în comunități mici sunt, după cum urmează:

- a) Identificarea modului de producere a energiei termice la nivel de comunități, trendul în dezvoltarea și implementarea de sisteme compatibile cu evoluția legislației în domeniu.
- b) Identificarea comunităților în care deja există implementate sisteme hibride bazate pe conversia energiei solare și arderea biomasei, în urma analizei unui număr mare de comunități.
- c) Evidențierea modelelor de sisteme hibride de tip solar-biomasă implementate la nivel european (5 modele) și a particularităților acestora privind producerea energiei (centralizat/descentralizat) și structura sistemului solar-termic descentralizat la nivel de cvartal/cartier sau la nivel de locuințe.
- d) Identificarea parametrilor necesari definirii unei comunități și a sub-comunităților aferente.
- e) Analiza detaliată asupra conceptului de performanță energetică a clădirilor și modul lui de aplicare în țările Uniunii Europene.
- f) Analiza și interpretarea conceptelor de necesar net de energie, energie livrată și energie primară în baza cărora diverse state și-au stabilit nivelul de performanță energetică a clădirilor.
- g) Studiul comparativ al celor două metode de calcul a necesarului de energie termică, pe cale analitică (ecuații sau softuri) și prin culegerea de date reale pe bază de facturi.
- h) Obținerea de recomandări utile proiectanților de sisteme solar-termice privind asigurarea procentului de energie termică din conversia energiei solare.
- i) Analiza modalităților de identificare a potențialului energetic solar la nivel de comunitate prin predicții bazate pe date meteo provenite de la stații meteo locale sau softuri specializate.
- j) Dezvoltarea metodei de simulare a potențialului energetic solar bazat pe predicția profilului meteorologic pornind de la date generate de softul Meteororm, aplicabil oricărei locații aferente comunităților, fără a depinde existența stației meteo în locație.
- k) Determinarea unghiului de incidență optim pentru calculul radiației captate și maximizarea energiei captate prin modificarea unghiurilor de tilt și diurn.
- l) Definirea schemei logice de identificare a potențialului solar cu etapele subsecvente pornind de la definirea locației până la evaluare.
- m) Sistematizarea tipurilor de biomasă lemnoasă, a modalităților de conversie în energie termică și a soluțiilor tehnice de ardere a biomasei pentru comunități.
- n) Definirea schemei logice de identificarea a potențialului energetic al biomasei lemnoase.
- o) Elaborarea etapelor de dezvoltare a unui sistem hibrid solar-biomasă prin trasarea unei scheme logice de dimensionare.
- p) Definirea schemei generale de simulare și predicție cu circuitele de producere energie termică (colectoare ST și cazan biomasă) și circuitele de distribuție agent termic (încălzire și ACM).
- q) Definirea priorităților de funcționare a sistemelor în cadrul ansamblului hibrid biomasă-solar și a schemelor de funcționare aferente.
- r) Metoda de dimensionare funcție necesarul de energie și potențialul solar-biomasă disponibil dar și de posibilitățile de montare și tehnologii disponibile.
- s) Definirea unui algoritm de dimensionare pentru optimizarea sistemului funcție de posibilitățile de execuție și gradul de acceptanță.

- t) Aplicarea metodologiei și a schemelor definite în programul TRNSYS într-un caz real pentru comunitatea din studiul de caz.
- u) Compararea necesarului de energie termică (măsurat vs. teoretic) la nivel de comunitate și validarea necesității utilizării datelor măsurate în teren.
- v) Aplicarea metodologiei de predicție a potențialului energetic solar și a calculului privind potențialul energetic din biomasă pentru un caz real.
- w) Dezvoltarea de scenarii și soluții tehnice aferente pentru asigurarea necesarului de energie aferent preparării de apă caldă menajeră pentru diferite perioade de timp.
- x) Dezvoltarea de scenarii și soluții tehnice aferente pentru conversia biomasei în energie termică.
- y) Analiza fezabilității pentru soluțiile tehnice descrise și alegerea scenariilor optime de dezvoltare a sistemului hibrid solar-biomasă
- z) Implementarea sistemului solar-biomasă propus în metodologie, pentru o comunitate într-un caz real, respectiv pentru cartierul Taberei din municipiul Odorheiu Secuiesc.

### 6.3. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetărilor experimentale și teoretice privind dezvoltarea sistemelor hibride bazate pe surse de energii regenerabile pentru asigurarea necesarului de energie termică în comunități mici, obținute pe durata efectuării studiilor doctorale, au fost valorificate parțial, după cum urmează:

#### a) Publicarea a 7 lucrări științifice, din care:

- 1 articol publicat ca prim autor în Journal of Energy Engineering (factor de impact 1,994) inclus în ISI Web of Science & Web of Knowledge.
- 2 articole publicate ca prim autor incluse în ISI Web of Science & Web of Knowledge.
- 4 articole publicate ca prim autor incluse în baza de date BDI.

#### b) Participarea cu lucrări științifice la conferințe naționale și internaționale, după cum urmează:

- Conferința Științifică a Școlilor Doctorale, Universitatea Dunărea de Jos Galați, 4-5 iunie 2015
- Seminarul „Energie regenerabilă și schimbări climatice – o perspectivă a tinerilor cercetători români”, Comisia de energii Regenerabile a Academiei Române, București 15 aprilie 2016,
- Conferința Științifică a Școlilor Doctorale, Universitatea Dunărea de Jos Galați, 2-3 iunie 2016, **premiul întâi** pentru articolul prezentat în secțiunea „Advanced resarch in Mechanical and Industrial Engeneering”.
- Conferința internațională „International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engeneering”(ACME), Universitatea Gheorghe Asachi din Iași, 9-10 iunie 2016.
- Conferința internațională „Conference for Sustainable Energy” (CSE), Universitatea Transilvania Brașov, 19-21 octombrie 2017
- Conferința Științifică a Școlilor Doctorale, Universitatea Dunărea de Jos Galți, 7-8 iunie 2018, **premiul trei** pentru articolul prezentat în secțiunea „Advanced resarch in Mechanical and Industrial Engeneering”.
- Conferința internațională „Sustainable solution for Energy and Environment”(EENVIRO), Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 9-13 octombrie 2018.

#### **6.4. Direcții viitoare de cercetare**

Etapele și demersurile parcurse la elaborarea tezei permit desfășurarea în continuare a cercetărilor experimentale și teoretice, după cum urmează:

- Dezvoltarea mai multor comunități, dotate cu sisteme hibride bazate pe surse de energii regenerabile pentru asigurarea necesarului de energie termică, în proximitatea celei arătate în studiul de caz sau într-o altă comunitate pilot și formarea unui pol de dezvoltare prin interconectarea acestora și în final asigurarea întregului necesar de energie termică la nivel de municipalitate.
- Studii asupra dezvoltării de comunități cu consum energetic redus (nZEC) prin reabilitarea clădirilor existente și dezvoltarea de clădiri cu consum energetic redus (LEB), acoperirea necesarului de energie termică exclusiv din surse de energii regenerabile aplicabile comunităților.
- Asigurarea independenței energetice în mediul construit aferent unei comunități prin asigurarea necesarului de energie termică și electrică exclusiv din surse de energii regenerabile aplicabile în limitele comunității studiate.
- Dezvoltarea unui sistem hibrid solar-biomasă care să acopere întregul necesar de energie termică și electrică la nivel de comunitate prin implementarea unui sistem de cogenerare bazat pe biomasă combinat cu sisteme de colectoare solar-termice și panouri fotovoltaice.
- Dezvoltarea de soluții tehnice de implementare a sistemelor solar-termice și de conversie a biomasei cu un grad crescut de acceptanță în rândul locuitorilor din cadrul comunității, prin adaptarea acestora la mediul construit existent respectiv la mediul arhitectural al acestuia.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Vișa Ion, Jaliu Codruța, Duță Anca, Neagoe Mircea, Comșiț Mihai, Moldovan Macedon, Ciobanu Daniela, Burduhos Bogdan: *The Role of Mechanism in Sustainable Energy Systems*, Brasov: Transilvania University Publishing House, 2015.
- [2] Națiunile Unite: *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, Brundtland, 1987.
- [3] International Energy Agency (IEA): *CO2 Emissions from Fuel Combustion*, Paris, 2017.
- [4] Vișa Ion, Duță Anca, Moldovan Macedon, Burduhos Bogdan: *Implementing Renewable Energy Systems in Nearly Zero Energy Communities*, Nearly Zero Energy Communities proceedings of the Conference for Sustainable Energy (CSE), Brasov, 2017.
- [5] Santamouris Mat: *Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change*," Solar Energy, vol. 1, pp. 61-94, April 2016.
- [6] Ilie Adrian, Vișa Ion și Duță Anca: *Simulated thermal energy demand and actual energy consumption in refurbished and non-refurbished buildings*, Materials Science and Engineering, vol. 147, nr. 1, pp. 1-9, September 2016.
- [7] Matthias Otto Müller, Adrian Stämpfli, Ursula Dold, Thomas Hammer: *Energy autarky: A conceptual framework for sustainable regional development*, Energy Policy, vol. 39, pp. 5800-5810, 2011.
- [8] Rae Callum, Bradley Fiona: *Energy autonomy in sustainable communities-A review of key issues*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, p. 6497-6506, 2012.
- [9] Vișa Ion, Duță Anca: *The Built Environment in Sustainable Communities*, în Sustainable Energy in the Built Environment - Steps Towards nZEB, Part of the series Springer Proceedings in Energy, Brasov, 2014.
- [10] Tineke van der Schoor și Bert Scholtens: *Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 43, p. 666-675, 2015.

- [11] Zishuo Huang, Hang Yu, Zhenwei Peng, Mei Zhao: *Methods and tools for community energy planning: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews , vol. 42, p. 1335–1348, 2015.
- [12] María Teresa García-Álvarez, Blanca Moreno, Isabel Soares: *Analyzing the sustainable energy development in the EU-15 by an aggregated synthetic index*, Ecological Indicators, vol. 60, pp. 996-1007, 2016.
- [13] Antonio Colmenar-Santos, Enrique Rosales-Asensio, David Borge-Diez, Jorge-Juan Blanes-Peiró: *District heating and cogeneration in the EU-28: Current situation, potential and proposed energy strategy for its generalization*, Renewable and Sustainable Energy Review, vol. 62, pp. 621-639, 2016.
- [14] L. De Boeck, S. Verbeke, A. Audenaert, L. De Mesmaeker: *Improving the energy performance of residential buildings: A literature review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 52, p. 960–975, 2015.
- [15] European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF): *Solar thermal contribution to the EU strategy for heating & cooling*, Brussels, 2015.
- [16] European Parliament and The Council of The European Union: *Directive 2009/28/EC Of The European Parliament and the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from the renewable sources*, Brussels, 2009.
- [17] European Parliament and The Council of The European Union: *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*, Brussels, 2012.
- [18] European Parliament and The Council of The European Union: *Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on The Energy Performance of Buildings (EPBD recast)*, Brussels, 2010.
- [19] D'Agostino Delia: *Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States*, Journal of Building Engineering, 2015.
- [20] The European Commisison: *Towards a European Strategic Energy Technology Plan*, Brussels, 2006.



- [21] European Parliament and The Council of The European Union: *Directive 2009/125/EC Establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast)*, Brussels, 2009.
- [22] The European Parliament and The Council of The European Union: *Directive 2010/30/EU on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products (recast)*, Brussels, 2010.
- [23] The European Parliament and The Council of The European Union: *Regulation (EU) No 333/2014 amending Regulation (EC) No 443/2009 to define the modalities for reaching the 2020 target to reduce CO2 emissions from new passenger cars*, Brussels, 2014.
- [24] The European Parliament and The Council of The European Union: *Regulation (EC) No 443/2009 setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO2 emissions from light-duty vehicles*, Brussels, 2009.
- [25] The European Parliament and The Council of The European Union: *Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC*, Brussels, 2003.
- [26] Guvernul Romaniei: *Planul Național de Acțiune în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile*, Bucuresti, 2010.
- [27] Guvernul Romaniei: *Planul național de acțiune în domeniul eficienței energetice - 2020*, Bucuresti, 2013.
- [28] Climate Action Tracker (CAT):  
[https://climateactiontracker.org/documents/352/CAT\\_BriefingNote\\_SB48\\_May2018.pdf](https://climateactiontracker.org/documents/352/CAT_BriefingNote_SB48_May2018.pdf).  
[Accesat 22 06 2018].
- [29] Izzet Ari, Ramazan Sari: *Differentiation of developed and developing countries for the Paris Agreement*, Energy Strategy Reviews, vol. 18, pp. 175-182, 2017.
- [30] Robert Stavins, Robert Stowe: *The Paris Agreement and beyond "Internationa Climate Change Policy Post-2020"*, 2016.
- [31] United Nations Climate Change: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/I09r01.pdf>.  
[Accesat 22 06 2018].

- [32] Sandrine Mathy, Philippe Menanteau, Patrick Criqui: *After the Paris Agreement: Measuring the Global Decarbonization Wedges From National Energy Scenarios*, Ecological Economics, vol. 150, pp. 273-289, 2018.
- [33] Deep Decarbonization (DDPP): <http://deepdecarbonization.org/research-methods/research-approach>. [Accesat 22 06 2018].
- [34] Communicate from The European Commission to The European Parliament and The Council: *European Energy Security Strategy*, Brussels, 2014.
- [35] Ilie Adrian, Vișa Ion, Duță Anca: *Solar-Thermal Systems for Domestic Hot Water Production Implemented in Communities of Collective Households*, Journal of Energy Engineering, 2017.
- [36] Shaopeng Guo, QibinLiu, JieSun, Hongguang Jin: *A review on the utilization of hybrid renewable energy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 91, pp. 1121-1147, 2018.
- [37] Jan Erik Nielsen, Per Alex Sørensen: *Renewable district heating and cooling technologies with and without seasonal storage*, în *Renewable heating and cooling technologies and applications*, Amsterdam, Netherlands, Elsevier, 2016, p. 197–220.
- [38] M. Guadalfajara, M. A. Lozano, L.M. Serra: *Simple calculation tool for central solar heating plants with seasonal storage*, SolarEnergy, vol. 120, nr. 1, p. 72–86., 2015.
- [39] Solar District Heating (SDH): <http://solar-district-heating.eu/ServicesTools/Plantdatabase.aspx>. [Accesat 21 02 2018].
- [40] R.Bet Sarkis, V.Zare: *Proposal and analysis of two novel integrated configurations for hybrid solar-biomass power generation systems: Thermodynamic and economic evaluation*, Energy Conversion and Management, vol. 160, pp. 411-425, 2018.
- [41] U. Sahoo, R. Kumar, P. C. Pant, R. Chaudhary: *Resource assessment for hybrid solar-biomass power plant and its thermodynamic evaluation in India*, Solar Energy, vol. 139, p. 47–57, 2016.
- [42] C. M. Iftekhhar, Hussain Brian Norton, Aidan Duffy: *Technological assessment of different solar-biomass systems for hybrid power generation in Europe*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 68, p. 1115–1129, 2017.
- [43] Collins J.: *The history of district heating 1959*, District Heating, vol. 44, nr. 4, pp. 154-161, 1959.
- [44] Raynal P: *Chaudes-Aigues: historique des utilisations de la géothermie*, Reseaux Chaleur, vol. 4, nr. 16, pp. 67-75, 1992.

- [45] Frederiksen S.: *District heating and cooling*, Lund Studentlitteratur, 2013.
- [46] Werner Swen: *International review of district heating and cooling*, Energy, vol. 137, pp. 617-631, 2017.
- [47] International Energy Agency (IEA): *World energy balances until 2014*, Paris, 2016.
- [48] Lindley David: *Energy Efficiency: the energy should always work twice*, Nature, vol. 458, nr. 7235, pp. 138-141., 2009.
- [49] Paul Woods, International Energy Agency, Novem, Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu: *A comparison of distributed CHP/DH with large-scale CHP/DH*, 2005.
- [50] Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen: *4th. Generation District Heating (4GDH): integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*, Energy, vol. 68, pp. 1-11, 2014.
- [51] Euro Heat & Power: *Heat Roadmap Europe 2050*, Aalborg , 2013.
- [52] Klinghoffer N. B.: *Waste to energy conversion technology*, Oxford:Woodhead Publishing Series in Energy, vol. 29, 2013.
- [53] International Solid Waste Association (ISWA): *Waste to Energy state of the art report*, Copenhagen, 2012.
- [54] International Energy Agency (IEA): *Advanced applications of water cooled nuclear power plants*, Viena, 2008.
- [55] Solar Distruct Heating (SDH): *Solar district heating and cooling*, Euroheat Power, vol. 10, nr. 3, pp. 26-29, 2013.
- [56] Solar Distruct Heating (SDH): *1 million square metres of solar thermal collectors in Danish district heating plants*, Euroheat Power, vol. 13, nr. 4, pp. 8-9, 2016.
- [57] Ruggero Bertani: *Geothermal development in Iceland*, în *World Geothermal Congress*, Melbourne, 2014.
- [58] Karin Ericsson, Sven Werner: *The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems*, Biomass Bioenergy, vol. 94, pp. 57-65, 2014.
- [59] Karin Ericsson, Lars J. Nilsson: *Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach*, Biomass Bioenergy, vol. 30, nr. 1, pp. 1-15, 2006.

- [60] Bjarne Bach, Jesper Werling, Torben Ommen, Marie Münster, Juan M. Morales, Brian Elmegaard: *Integration of large-scale heat pumps in the district heating systems of GreaterCopenhagen*, Energy, vol. 107, pp. 321-334, 2016.
- [61] Alessandro Pensini, Claus N. Rasmussen, Willett Kempton: *Economic analysis of using excess renewable electricity to displace heating fuels*, Applied Energy, vol. 131, pp. 530-543, 2014.
- [62] Solar Thermal World: <http://www.solarthermalworld.org/content/europe-23-new-and-upgraded-solar-district-heating-plants-190-mwth-start-operation-2015>, [Accesat 21 02 2018].
- [63] Euro Heat: <https://www.euroheat.org/our-projects/sunstore4-100-renewable-district-heating/>, [Accesat 21 02 2018].
- [64] Plan Energy: *Long term storage and solar district heating*, Aalborg, 2016.
- [65] Renewable Energy Focus: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/10931/heating-and-cooling-europe-with-solar/>. [Accesat 1 11 2018].
- [66] Solar Thermal World: [http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2016-04-04/solar\\_district\\_heating\\_webinar\\_march\\_2016.pdf](http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2016-04-04/solar_district_heating_webinar_march_2016.pdf).
- [67] Be Sustainable Magazine: <http://www.besustainablemagazine.com/cms2/sdhp2m-project-solar-thermal-energy-combined-with-biomass/>. [Accesat 1 11 2018].
- [68] Solar Thermal World: <https://www.solarthermalworld.org/content/france-third-solar-district-heating-conference-call-paper>. [Accesat 01 11 2018].
- [69] Buildings Performance Institute Europe (BPIE): *Europe's buildings under microscope, A country-by-country review of the energy performance buildings*, 2011.
- [70] Institute for Environmental Research and Education Vashon: *Energy Independent Communities*, 2012.
- [71] Ilie Adrian și Vișa Ion: *Energy Production In A Sustainable Community Using The Local Renewable Energy Sources*, Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, II, vol. 1, pp. 100-107, 2015.
- [72] Vișa Ion, Duță Anca, Moldovan Macedon și Burduhos Bogdan: *Conceptual Design of renewable-based mixes for sustainable communities*, în Supliment Buletin AGIR, , Bucuresti, 2015.

- [73] EN 15217:2007: *Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*, 2007.
- [74] Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului (MTCT): *Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor*, 2006.
- [75] Pietro Florio, Olivier Teissier: *Estimation of the Energy Performance Certificate of a housing stock characterised via qualitative variables through a typology-based approach model: A fuel poverty evaluation tool*, *Energy and Buildings*, vol. 89, pp. 39-48, 2015.
- [76] Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA): <http://webtool.building-typology.eu/#bm> [Accesat 16 08 2016]
- [77] Paulina Wegertseder, Peter Lund, Jani Mikkola, Rodrigo García Alvarado: *Combining solar resource mapping and energy system integration methods for realistic valuation of urban solar energy potential*, *Solar Energy*, vol. 135, pp. 325-336, 2016.
- [78] World GBC:  
[http://www.worldgbc.org/files/1813/6067/5345/Overview\\_of\\_the\\_Energy\\_Efficiency\\_Directive\\_September\\_2012.pdf](http://www.worldgbc.org/files/1813/6067/5345/Overview_of_the_Energy_Efficiency_Directive_September_2012.pdf). [Accesat 06 09 2015]
- [79] Commission to the European Parliament and the Council: *Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy COM 2014/520*, Brussels, 2014.
- [80] Ilie Adrian și Vișa Ion: *Energy Efficiency. Energy performance in the Built Environment*, Bulletin of the Transilvania University of Brașov, Series I: Engineering Sciences, vol. 8(57), nr. 2, pp. 79-86, 2015.
- [81] European Commission: *Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU), no.244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology*, Brussels, 2014.
- [82] Ecofys: *Cost-effective climate protection in the EU Building stock*, Brussels, 2005.
- [83] Entrazze: <http://www.entranze.enerdata.eu/#/total-unit-consumption-per-m2-inesidential-at-normal-climate.html> . [Accesat 06 09 2015]
- [84] Ilie Adrian și Vișa Ion: *Comparative Analysis of the Energy Demand by Standard Method and the TRNSYS-Weather Data Method*, în *Nearly Zero Energy Communities: Proceedings of the Conference of Sustainable Energy*, Brasov, 2017.

- [85] Building Performance Institute Europe (BPIE): *Principles for nearly Zero-Energy Buildings Paving the way for effective implementation of policy requirements Executive Summary*, Brussels, 2014.
- [86] Kim Bjarne Wittchen, Kirsten Engelund Thomsen: *European national strategies to move towards very low energy buildings*," Danish Building Research Institute, Aalborg , 2008.
- [87] Building Performance Institute Europe (BPIE): *Principles for Nearly Zero-Energy Buildings Paving the Way for Effective Implementation of Policy Requirements Executive Summary*, Bruxelles, 2014.
- [88] Economidou Marina: *Energy Performance Requirements for Buildings in Europe*, REHVA Journal, pp. 16-21, 2012.
- [89] Building Performance Institute Europe (BPIE): *Nearly Zero Energy Buildings Definitions across Europe*, Bruxelles, 2015.
- [90] European Commision: <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>. [Accesat 06 09 2015]
- [91] EN ISO 10456/2007: *Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*
- [92] Doset Impex SRL: [http://www.dosetimpex.ro/doset-pec/Manual\\_Doset-PEC\\_v1007.pdf](http://www.dosetimpex.ro/doset-pec/Manual_Doset-PEC_v1007.pdf). [Accesat 09 11 2018].
- [93] Kristina Orehounig, Georgios Mavromatidis, Ralph Evins, Viktor Dorer, JanCarmeliet: *Towards an energy sustainable community: An energy system analysis for a village in Switzerland*, Energy and Buildings, vol. 84, pp. 277-286, 2014.
- [94] Myers D.R.: *Solar radiation resource asesment for renewable energy conversion*, Comprehensive Renewable Energy, vol. 1, nr. 12, pp. 213-237, 2012.
- [95] ENER-SUPPLY: *Manual- Surse regenerabile de energie*, Brasov, 2012.
- [96] Roger A. Messenger, Amir Abtahi: *Photovoltaic System engeneering*, Boca Raton, CRC Press, 2002.
- [97] Meliss Michael: *Regenerative energie - quellen praktikum*, Springer, 1997.
- [98] Frank Bason: *Diffuse solar irradiance and atmospheric turbidity*, EuroSun, Freiburg, Germany, 2004.

- [99] Diaconescu Dorin Valentin, Vișa Ion, Hermenean Ioana Sinziana, Vătășescu Maria Monica: *Clouds influence on the solar radiation for a montain location*, Enviromental Engeneering and Management Journal, vol. 8, pp. 849-853, 2009.
- [100] Christian Budig: *Comparison of Different Sources of Meteorological Data for Central Asia and Russia*, în *Procedings EuroSun*, Gratz, 2010.
- [101] Echipot SRL: <http://www.echipot.ro/istrumente-meteo/delta-t-devices/meteorologie-si-radiatie-solara/statii-meteorologice-137.html>. [Accesat 16 02 2018].
- [102] John Duffie și Wiliam Beckam: *Solar engeneering of thermal process*, în *Solar engeneering of thermal process - Third Edition*, New Jersey, John Willey & Sons Inc., 2006.
- [103] Green Spec Ltd: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/solar-collectors/>. [Accesat 29 01 2019].
- [104] Apricus Ltd: [http://www.apricus.com/html/solar\\_collector.htm#.XFB8WFwzaUk](http://www.apricus.com/html/solar_collector.htm#.XFB8WFwzaUk). [Accesat 29 01 2019].
- [105] Soteris A. Kalogirou: *Solar thermal collectors and applications*, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, pp. 231-295, 2004.
- [106] Vișa Ion, Neagoe Mircea, Moldovan Macedon, Comșiț Mihai: *Solar Tracking Parallel Linkage Applicable for all Latitudes*, *New Advances in Mechanism and Machine Science*, 2018.
- [107] Christopher B. Field, Michael J. Behrenfeld, James T. Randerson, Paul Falkowski: *Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components*, *Science*, vol. 281, nr. 1, pp. 237-240, 1998.
- [108] Breeze Paul: *Power Generation Technologies (Second Edition) – Chapter 15 Biomass based Power Generation*, 2014.
- [109] Ezinwa Agbor, Xiaolei Zhang, Amit Kumar: *A review of biomass co-firing in North America*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014.
- [110] Marco Manzone, Sara Bergante, Gianni Facciotto: *Energy and economic evaluation of a poplar plantation for woodchips production in Italy*, *Biomass and Bioenergy*, vol. 60, pp. 164-170, 2014.
- [111] Tasneem Abbasi: *Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, nr. 3, pp. 919-937, 2010.



- [112] M.V.Biezma, J.R. San Cristóbal: *Investment criteria for the selection of cogeneration plants - a state of the art review*, Applied Thermal Engineering, vol. 26, nr. 5-6, pp. 583-588, 2006.
- [113] United States Department of Agriculture: <https://www.fs.fed.us/science-technology/energy-forest-products>. [Accesat 06 09 2015]
- [114] Augusto Bianchini, Marco Pellegrini Cesare Saccani: *Thermoelectric Cells Cogeneration from Biomass Power Plant*, Energy Procedia, vol. 45, pp. 268-277, 2014.
- [115] Seishu Tojo, Tadashi Hirasawa: *Research Approaches to Sustainable Biomass Systems: Chapter 6 – Machinery and Information Technology for Biomass Production*, ISBN: 978-0-12-404609-2 ed., Academic Press, 2014.
- [116] UK Government:  
[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/532963/Renewable\\_energy\\_in\\_2015.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/532963/Renewable_energy_in_2015.pdf). [Accesat 06 09 2015]
- [117] Rafal Strzalka, Tobias Gabriel, Erhart Ursula Eicker: *Analysis and optimization of a cogeneration system based on biomass combustion*, Applied Thermal Engineering, vol. 50, nr. 2, pp. 1418-1426, 2013.
- [118] Steffen Heidenreich, Pier Ugo Foscolo: *New concepts in biomass gasification*, Progress in Energy and Combustion Science, vol. 46, pp. 72-95, 2015.
- [119] R. Sikkema, A.P.C. Faaij, T. Ranta, J. Heinimö, Y.Y. Gerasimov, T. Karjalainen, G.J.Nabuurs: *Mobilization of biomass for energy from boreal forests in Finland & Russia under present sustainable forest management certification and new sustainability requirements for solid biofuels*, Biomass and Bioenergy, vol. 71, pp. 23-36, 2014.
- [120] Timo Jäntti, Kimmo Räsänen: *Circulating Fluidized Bed Technology towards 800MWe scale – Lagisza 460MWe Supercritical CFB Operation Experience*, în Power Gen Europe , Milan, Italy, 2018.
- [121] Peña J. P.: *Bubbling fluidized beds: When to use this technology*, în IFSA 2011, Industrial Fluidization South Africa, Johannesburg, 2011.
- [122] Edgardo Coda Zabetta, Vesna Barisic, Kari Peltola, Arto Hotta: *Foster Wheeler Experience with Biomass and Waste in CFBs*, în Clearwater Conference, 2008.

- [123] Bibhu Prasad Ganthia, Sushree Sasmita, Krishna Rout, Anwes Pradhan, Jayashree Nayak: *An Economic Rural Electrification Study Using Combined Hybrid Solar and Biomass-Biogas System*, Materials Today: Proceedings, vol. 5, nr. 1, pp. 220–225, 2018., 2018.
- [124] Annamaria Buonomano, Umberto Montanaro, Adolfo Palombo, Stefania Santini: *Dynamic building energy performance analysis: A new adaptive control strategy for stringent thermohygrometric indoor air requirements*, Applied Energy, vol. 163, pp. 361-386, 2016.
- [125] **Ilie Adrian** și Vișa Ion: *Hybrid solar-biomass system for district heating*, E3S Web of Conferences, EENVIRO 2018 , vol. 85, 2019.
- [126] N. Aste, M. Beccali, L.C. Tagliabue: *Nomograph for rapid technical and economic assessment of solar thermal systems for DHW production*, Solar Energy, vol. 86, pp. 2472-2485, 2012.
- [127] Enrico Fabrizio, Federico Seguro, Marco Filippi: *Integrated HVAC and DHW production systems for Zero Energy Buildings*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 40, pp. 515-541, 2014.
- [128] **Ilie Adrian**, Vișa Ion, Duță Anca: *Solar-Thermal Systems implemented in Communities of Collective Housholds for Domestic Hot Water Production*, Annals of "Dunărea de Jos" University of Galați, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, Fascicle II, vol. 1, pp. 139-146, 2016.
- [129] Christian Bussar, Philipp Stöcker, Zhuang Cai, Luiz Moraes Jr., Dirk Magnor, Pablo Wiernes, Niklas van Bracht, Albert Moser, Dirk Uwe Sauer: *Large-scale Integration of Renewable Energies and Impact on Storage Demand in a European Renewable Power System of 2050*, Energy Procedia, vol. 73, pp. 145-153, 2015.
- [130] Institutul Național de Statistică: *Rezultatele finale ale Recensământului din 2011, Tab8. Populația stabilă după etnie – județe, municipii, orașe, comune,* INS, Bucuresti, 2011.
- [131] Binod Prasad Koirala, Elta Koliou, Jonas Friege, Rudi A. Hakvoort, Paulien M. Herder: *Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 56, pp. 722-744, 2016.
- [132] J. H. Yoo.: *Evaluation of solar hot water heating system applications to high-rise multi-family housing complex based on three years of system operation*, Energy and Buildings, vol. 101, pp. 54-63, 2015.

## **Anexa 1: REZUMAT**

Strategia europeană are ca țintă decarbonizarea Europei până în 2050, ceea ce impune înlocuirea combustibililor fosili de producere a energiei termice în comunități prin surse regenerabile de energie.

În acest context, este necesară transformarea sistemelor actuale de producere a energiei termice la nivel districtual în comunități sau dezvoltarea de noi sisteme, bazate pe mixuri de energii regenerabile.

Energia solară și biomasa sunt surse regenerabile cu potențial ridicat de producere a energiei termice la nivel districtual în numeroase comunități. Sistemele hibride de tip solar-biomasa pot asigura necesarul de energie termică pentru apa caldă menajeră și încălzire pentru întreaga comunitate pe tot parcursul întregului an.

Teza dezvoltă metodologia pentru modelarea, dezvoltarea, optimizarea și implementarea sistemului hibrid solar-biomasă la nivelul unei comunități, precum și pentru integrarea producerii energiei termice din energia solară într-un sistem existent bazat pe biomasă.

Metodologia are la bază conceptul utilizării în totalitate pentru conversia solar-termică a energiei solare captate și completarea cu energia termică din biomasă pentru a acoperi necesarul de energie termică în comunitate în fiecare zi a anului.

Sistemul propus este modular și, ca urmare, poate fi aplicat pentru comunități de dimensiuni diferite prin modificarea numărului de module funcție de necesarul de energie din comunitate.

Determinarea necesarului de energie, a potențialului solar și de biomasă, conceperea, modelarea, simularea funcționalității în diverse regimuri prin utilizarea softurilor de profil, dezvoltarea sistemului și etapele metodologiei propuse sunt detaliate în teză.

Pentru validarea metodologiei se dezvoltă un studiu de caz privind integrarea într-un sistem existent bazat pe biomasă (cartierul Taberei din mun. Odorheiu Secuiesc) a sistemului de conversie solar-termică bazat pe colectoare termice plane. Sistemul proiectat este implementat și monitorizat.

Rezultatele cercetării au fost diseminate în comunitatea științifică prin lucrări prezentate la Conferințe Internaționale și publicații în jurnale de prestigiu indexate în baze de date internaționale.

## **ABSTRACT**

The aim of the European strategy is to decarbonise Europe until 2050, which involves the replacement of the fossil fuel that communities use to generate thermal energy by renewable energy sources.

Within this context, the current heating systems for communities need to be transformed into district heating systems or to be replaced by new systems based on renewable energy mixes.

Solar energy and biomass are renewable energy sources that have a high potential for the production of district heating in numerous communities. Hybrid solar-biomass systems may ensure the thermal energy needed for the production of domestic hot water and heating for the entire community all year round.

The thesis develops a methodology used to design, develop, optimize and implement the hybrid solar-biomass system in a community and to integrate the production of thermal energy from solar energy into an already existing biomass system.

The methodology relies on the concept of the entire use for the solar-thermal conversion of the received solar energy and the addition of thermal energy from biomass to provide for the demand of thermal energy in the community all year round.

The proposed system is a modular one and, as a consequence, it might be used in communities of different sizes by changing the number of modules based on the demand of energy in that respective community.

The determining of the energy demand, of the solar and biomass potential, the design, modelling, simulation of the functionality in different conditions by using specialized software, the development of the system and the stages of the proposed methodology are all detailed in the thesis.

In order to validate the methodology, a case study is developed regarding the integration in an already existing biomass-based system (Taberei District in Odorheiu Secuiesc Town) of the solar-thermal conversion system based on flat plate thermal solar collectors. The designed system has been implemented and is monitored.

The results of the research were disseminated in the scientific community through papers presented at International Conferences and publications in prestigious journals and indexed in international databases.

## Anexa 2:

## CURICULUM VITAE

**Informații personale**

Nume / Prenume **ILIE Constantin Adrian**  
 Naționalitate română  
 Data nașterii

E-mail **adrian.ilie@unitbv.ro,**

**Educație și formare**

**Perioada 2013-prezent**

Diploma obținută Doctorand

Domeniul tezei de doctorat Inginerie mecanica

Numele și tipul instituției de învățământ Școala Doctorală Interdisciplinară (SDI) – Facultatea de design de produs si mediu - Universitatea Transilvania din Brașov

**Perioada 01.10.2010 – 15.07.2013**

Calificarea / diploma obținută Inginer Instalații pentru Construcții

Numele instituției de învățământ Facultatea de Construcții - Universitatea Transilvania din Brașov

**Perioada 01.10.2003 – 15.07.2008**

Calificarea / diploma obținută Inginer diplomat Autovehicule Rutiere

Numele instituției de învățământ Facultatea de Mecanica - Universitatatea Transilvania Brasov

**Experiența profesională**

**Perioada Septembrie 2008- prezent**

Funcția sau postul ocupat Inginer, Șef serviciu tehnic, Director Tehnic

Activități și responsabilități Coordonarea si organizarea activității tehnice –proiectare și execuție lucrări,

Numele și adresa angajatorului SC AG SERV CONSTRUCT SRL, Negrești - Oaș, Jud. Satu-Mare

**Perioada Decembrie 2011-prezent**

Funcția sau postul ocupat Administrator – Asociat Unic

Activități și responsabilități Coordonare si organizare activitate societate.

Numele și adresa angajatorului SC MINEPRO SRL, Hărman, Jud. Brașov

**Aptitudini și competente**

Limbi străine cunoscute engleza, franceza

Competențe tehnice Manager de proiect autorizat în domeniu construcțiilor,  
 Responsabil cu supravegherea lucrărilor și tehnic cu sudura autorizat ISCIR

Competențe IT AutoCAD, Catia, Corel Draw, TRNSYS, DOSET-PEC, Meteonorm, MS Office, MS Project, ISDP

Afilieri Asociația Inginerilor Instalatori din Romania (AIIR)  
 Uniunea Compozitor si Muzicologilor din Romania (UCMR)

**Anexa 3:**

**CURICULUM VITAE**

**Personal information**

Name / surname **ILIE Constantin Adrian**

Nationality Romanian

Birth Date

E-mail **adrian.ilie@unitbv.ro,**

**Education and training**

**Dates** **2013-present**

Diploma PhD Student

Domain of PhD Mechanical engineering

Institution Transilvania University of Braşov, Doctoral School

**Dates** **01.10.2010 – 15.07.2013**

Diploma Facility for buildings

Institution Transilvania University of Braşov, Civil Engineering Faculty

**Dates** **01.10.2003 – 15.07.2008**

Diploma Automotive engineering

Institution Transilvania University of Braşov, Mechanical Faculty

**Work experience**

**Dates** **September 2008- present**

Position Engineer, Technical Manager

Activities Design and execution of works for civil engineering.

Employer SC AG SERV CONSTRUCT SRL, Negreşti - Oaş, Jud. Satu-Mare

**Dates** **December 2011-present**

Position Administrator – Owner

Activities Administration and organization of the company.

Employer SC MINEPRO SRL, Hărman, Jud. Braşov

**Skills and Competences**

Other languages English, French

Technical skills Project Manager for construction works,  
Technical supervisor authorized by ISCIR