

UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA
FACULTATEA DE ELECTROTEHNICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

**STUDIUL EFICIENȚEI
ENERGETICE ȘI ECONOMICE A
CLĂDIRILOR**

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,
PROF. DR. ING. ION MIRCEA

DOCTORAND,
STAN IVAN FELICIA ELENA

CAPITOLUL 1

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE LUCRĂRII

Viața planetei noastre se bazează în prezent aproape în exclusivitate pe resurse energetice asigurate de combustibilii fosili, inevitabil epuizabili. Durata în care vom mai dispune de aceștia, timp în care știința va trebui să găsească alte surse, poate fi prelungită prin reducerea dacă nu eradicarea risipei, corespunzător dictonului potrivit căruia cea mai ieftină energie este cea economisită. Economisirea energiei nu este însă numai o problemă de conștiință, ci un imperativ dat de costurile din ce în ce mai ridicate ale acesteia.

Figura 1.1. prezintă structura consumurilor energetice în sectoarele rezidențial și terțiar pentru țările din Uniunea Europeană.

Structura consumurilor energetice in sectoarele rezidential si terțiar din UE

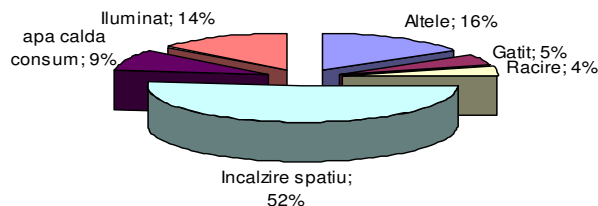


Figura 1.1. Structura consumurilor energetice în sectorul rezidențial și terțiar din UE, [26]

Prezenta lucrare are drept scop analiza unor metode de eficientizare a clădirilor existente precum și a celor în curs de construire.

Prima parte a lucrării cuprinde o analiză a situației existente în domeniul clădirilor din punct de vedere al elementelor delimitatoare și al optimizării consumurilor de căldură, pentru clădirile din România, respectiv clădirile din țările Uniunii Europene.

În primele capitole ale lucrării se prezintă modelele fizice și matematice care descriu fenomenele de transfer termic în regim nestaționar care au loc în clădiri. Se descriu fenomenele de transfer termic radiant între diferitele suprafețe și de asemenea fenomenele de transfer termic convectiv și conductiv prin elementele de închidere a clădirilor.

În cadrul celei de-a doua părți a lucrării se prezintă câteva metode și soluții de îmbunătățire a anvelopei clădirilor, prin compararea a numeroase materiale de construcții, clădirile fiind prevăzute sau nu cu straturi de izolație termică.

În ultimele două capitole s-au prezentat metode și soluții de creștere a eficienței clădirilor atât din punct de vedere energetic cât și din punct de vedere economic.

CAPITOLUL 2.

ANALIZA ENERGETICĂ ACTUALĂ ÎN DOMENIUL CLĂDIRILOR

2.1. EVOLUȚIA REALIZĂRII CLĂDIRILOR

2.1.1. Introducere [26], [70]

Majoritatea locuințelor din România sunt situate în clădiri cu vechime cuprinsă între 15 și 55 ani, caracterizate printr-un grad redus de izolare termică și o uzură avansată. Structura fondului locativ în funcție de vechime este prezentată în figura 2.1.

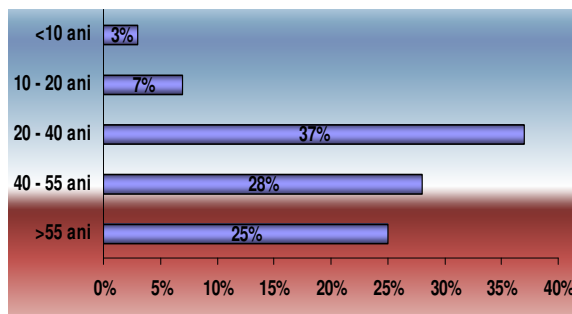


Figura 2.1. Structura fondului de locuințe din România

În perioada anterioară anului 1973 în România erau în vigoare reglementările de protecție termică traduse din limba rusă. Pentru rezistența totală la transfer termic, R_t valorile prevăzute erau: 0,88...1,06 $m^2 \cdot K/W$ pentru pereți, 1,18...1,73 $m^2 \cdot K/W$ pentru planșee peste ultimul nivel.

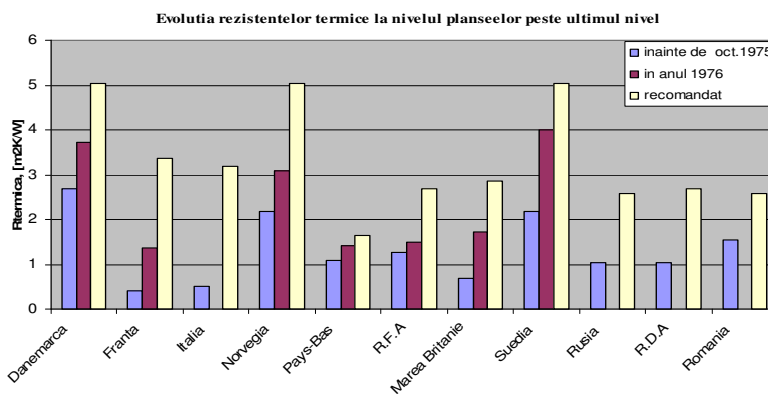


Figura 2.3. Valorile $R_{termice}$ pentru elementele de închidere exterioare, pentru diferite țări din Europa

În prezent valorile gradului de protecție termică R_t sunt mărite mai mult:

- 2,0...2,5 $m^2 \cdot K/W$ pentru pereți exteriori;
- 3,0...3,6 $m^2 \cdot K/W$ pentru planșee peste ultimul nivel;
- 3,0...5,0 $m^2 \cdot K/W$ pentru planșee la partea inferioară;
- 0,5... 0,62 $m^2 \cdot K/W$ pentru tâmplăria exterioară.

Precizări

Analiza situației existente în domeniul clădirilor este concretizată prin prezentarea problemelor legate de evoluția structurilor clădirilor în contextul evoluției standardelor de locuire în context european. Încă din debutul lucrării, se prezintă într-o manieră științifică aspecte privind termo-higro-dinamica clădirilor, recurgând la prezentarea de modele matematice de calcul și simulare higrotermică bazate pe ecuații diferențiale și scoțând în evidență concluzii practice privind reabilitarea termo-higro-energetică a anvelopei clădirilor.

Realizarea unei protecții corespunzătoare la acțiunea apei, sub diverse forme, astfel:

- izolarea higrofugă propriu-zisă, prin prevederea unor structuri higroizolante;
- etanșarea higrofugă pe conturul tâmplăriei exterioare;
- folosirea unor structuri de protecție a straturilor termoizolante din materiale higrofobe, etanșe și fără risc de fisurare;
- evitarea umeziri excesive a straturilor termoizolante, printr-o corectă rezolvare a problemei difuziei vaporilor de apă prin elementele de construcție.

CAPITOLUL 3.

ANALIZA TERMICĂ A ELEMENTELOR COMPONENTE ALE CLĂDIRILOR

3.1.1. Transferuri de căldură pentru elementele de închidere a clădirilor

- transferul de căldură prin convecție Q_{cv} și radiație Q_r de la aerul cald spre suprafețele pereților, suprafețele înconjurătoare;
- transferul de căldură prin conducție la nivelul suprafețelor pereților Q_{cd} ;
- transferul de căldură prin convecție Q_{cv} și radiație Q_r pentru suprafețele pereților spre aerul exterior și suprafețele înconjurătoare [58].

Tabelul 3.14. Comparație tip material-valoare R_t și valoare U_t pentru structurile de pereți analizate

Tip perete	Grosime, [cm]	R_t [m^2K/W]	U_t [W/m^2K]
Cărămidă fără izolație	42	0,69	1,45
Cărămidă cu izolație din polistiren 5 cm	47	1,94	0,52
Cărămidă cu izolație din polistiren 10 cm	52	3,19	0,31
Cărămidă cu izolație din polistiren 15 cm	57	4,44	0,23
BCA fără izolație	42	2,02	0,49
BCA cu izolație din polistiren 5 cm	47	3,27	0,31
BCA cu izolație din polistiren 10 cm	52	4,52	0,22
BCA cu izolație din polistiren 15 cm	57	5,77	0,17
Beton fără izolație	42	0,39	2,54
Beton cu izolație din polistiren 5 cm	47	1,64	0,61
Beton cu izolație din polistiren 10 cm	52	2,89	0,35
Beton cu izolație din polistiren 15 cm	57	4,14	0,24
Cărămidă eficientă fără izolație	42	1,04	0,96
Cărămidă cu goluri cu izolație din polistiren 5 cm	47	2,29	0,44
Cărămidă cu izolație din polistiren 10 cm	52	3,54	0,28
Cărămidă cu izolație din polistiren 15 cm	57	4,79	0,21

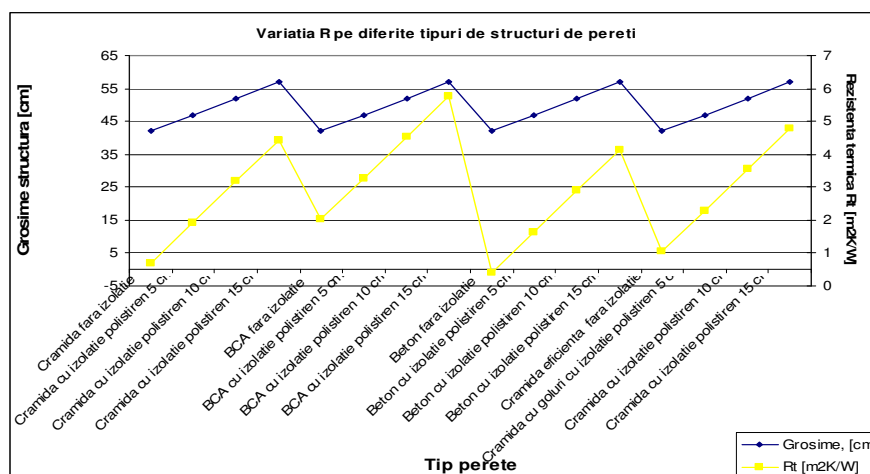


Figura 3. 30. Variația rezistenței termice pentru pereți prevăzuți cu diferite grosimi ale stratului de izolație, pentru o temperatură exterioară de $T_e = -20^\circ\text{C}$

3.3.5. Precizări

Capitolul 3 are la bază prezentarea principalelor transferuri de căldură la nivelul elementelor clădirilor. O parte a acestui capitol este destinată analizei diferitelor tipuri de pereți sub aspectul modurilor combinate de transfer de căldură la nivelul acestora, al parametrilor, caracteristicilor termice, transmitanței termice, punților termice și gradientului de temperatură. În final, este stabilită influența utilizării izolațiilor termice pentru pereți, prezentându-se conceptul teoretic al modelului echivalent al pereților. De asemenea este stabilită influența suprafețelor vitrate asupra consumului de energie precum și coeficienții de pierderi de căldură prin suprafețele vitrate.

Contribuții proprii:

- studiul și analiza consumurilor de energie din clădiri cu trasarea graficelor consumurilor medii anuale de energie termică pentru clădiri din diferite regiuni climatice: Europa Centrală și de Est, țările scandinave, țările Uniunii Europene;
- prezentarea grafică a variației rezistenței și transmitanței termice a structurilor de pereți analizați funcție de grosimea izolației termice;
- realizarea de comparații între elementele transparente și opace ale clădirii cu determinarea influenței suprafețelor vitrate asupra pierderilor de căldură;
- analiza diferitelor tipuri de ferestre și evaluarea parametrilor performanțelor sistemelor de ferestre cu ajutorul valorilor transmitanței termice;
- determinarea pierderilor de căldură prin suprafețele vitrate.
- analiza comparativă sub formă tabelară și grafică a elementelor termice caracteristice: rezistențe termice, transmitanța termică, fluxuri de căldură pentru diferite structuri de pereți: pereți din beton, pereți din beton autoclavizat, pereți din cărămidă.

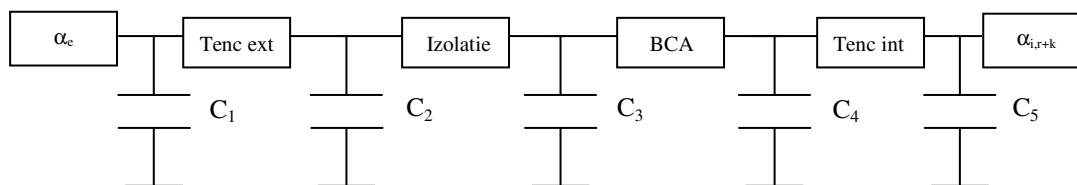
CAPITOLUL 4.

MODELE MATEMATICE ȘI TERMICE PENTRU ANALIZA COMPORTĂRII TERMICE A ELEMENTELOR COMPONENTE ALE CLĂDIRILOR

4.3. MODELE TERMICE PENTRU ELEMENTELE DE ÎNCHIDERE A CLĂDIRILOR

4.3.1. Modelul termic al peretelui exterior pentru o clădire eficientă [36],[47]

$1/\alpha [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	0.04	3.456	3.438	0.088	0.110	0.130
$d[\text{m}]$	0	0.015	0.175	0.275	0.020	0



$C [\text{Wh}/(\text{m}^2\text{K})]$	8.788	1.375	21.163	40.950	25.155
$\tau[\text{h}]$	0.347	2.370	1.824	2.005	2.762

Pentru o valoare minimă a constantei termice de timp, $\tau = 0.347$ [h], se obțin următoarele valori:
 $C = 8.788 + 1.375 + 21.163 + 40.950 + 25.155 = 97.430$ Wh/(m²K)

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} = 8.90 \quad \text{m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R} = 0.014 \quad \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$$

În continuare sunt prezentate rezultatele modelării matematice a pereților, obținute cu ajutorul programului de simulare dinamică a clădirilor Dynbil [36],[47].

Tabelul 4.3. Datele caracteristice obținute în urma procesului de simulare, pentru peretele exterior al clădirii eficiente energetic

Perete exterior clădire eficientă energetic					
Material	δ [cm]	rho [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	factor difuzie
Tencuială exterioară	2	1200	840	0.87	0.0096
BCA	17.5	750	840	0.9	0.0085
Polistiren	30	20	1460	0.04	0.0171
Tencuială interioară	1.5	1200	840	0.35	0.0145
Valoare U [W/m ² K]	0.014				
Capacitatea totală, [kJ/m ² K]	536.49				
Capacitatea termică efectivă stânga, [kJ/m ² K]	259.2				
Capacitatea termică efectivă dreapta, [kJ/m ² K]	68.08				
Constanta termică de timp, τ [min]	53.174				

4.3.9. Concluzii

Acest capitol prezintă modele matematice de calcul al bilanțului termic pentru camere și zone ale unei clădiri, scoțându-se în evidență necesitatea utilizării unor metode numerice de rezolvare a sistemelor de ecuații cu derivate parțiale (metode diferențiale explicite și implicite), cu luarea în considerație a criteriilor de stabilitate a acestora.

S-au prezentat de asemenea diferite simplificări ale ecuațiilor de bilanț termic care se fac în mod uzual ținând cont de mărimea programelor de calcul folosite, de timpul de calcul și de cantitatea de date de intrare. O parte importantă a acest capitol, este dedicată prezentării unui model termic al unei clădiri prin analogie cu elementele electrice.

Finalul capitolului prezintă în aceeași manieră științifică rezultatele obținute cu programe de modelare dinamică a clădirilor (DYNBIL) la nivelul pardoselii, acoperișului, peretelui exterior, fundației pentru cele două tipuri de clădiri (clădire eficientă energetic și respectiv clădire mai puțin eficientă).

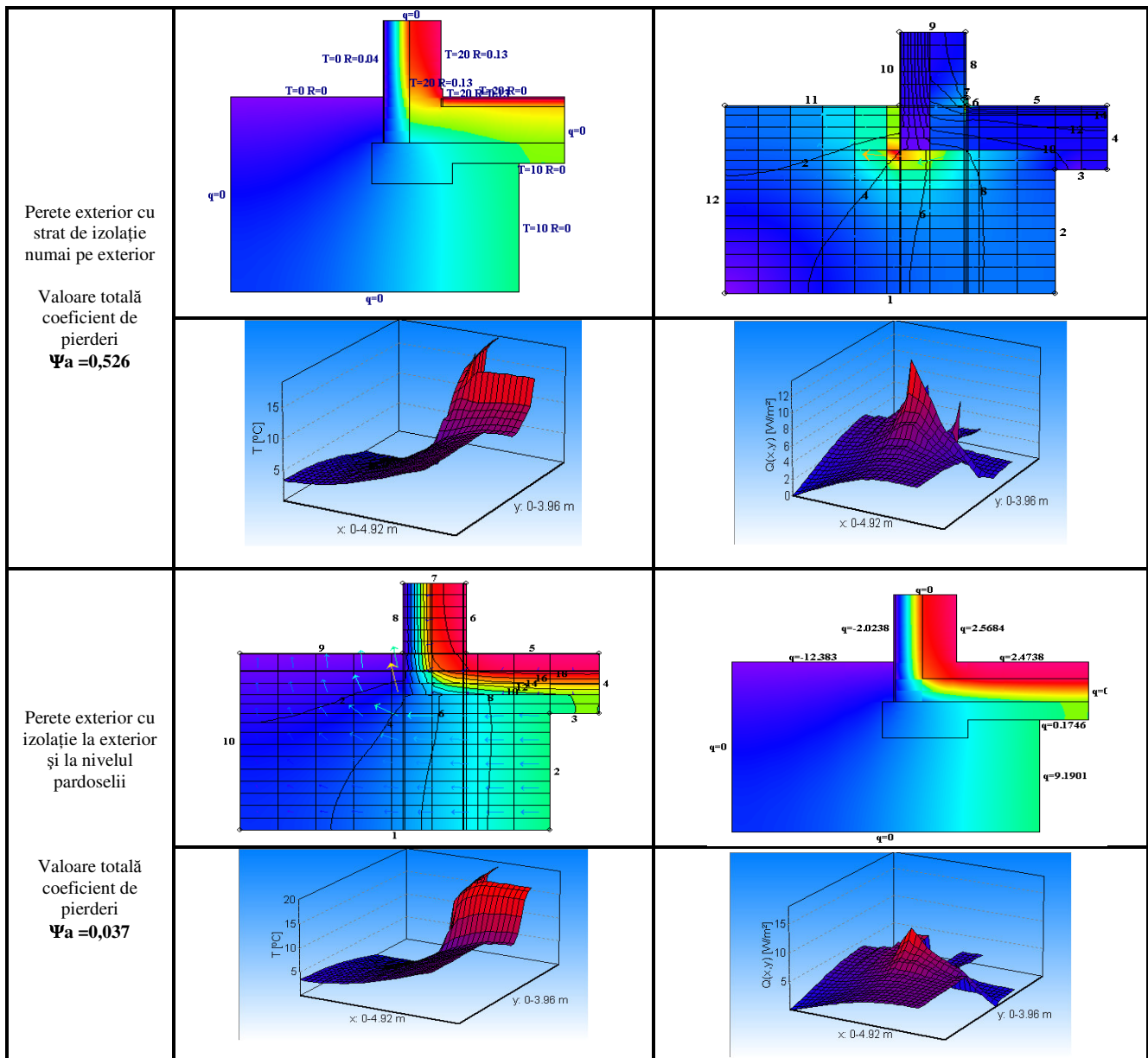
CAPITOLUL 5.

CALCULUL PUNȚILOR TERMICE ȘI SIMULAREA FLUXURILOR DE CĂLDURĂ

5.2. SIMULAREA DINAMICĂ A EFECTELOR DATE ARTE EXISTENȚEI PUNȚILOR TERMICE ȘI DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE TRANSFER DE CĂLDURĂ AL PUNȚILOR TERMICE

Tabelul 5.19. Comparații între cele trei tipuri de structuri analizate

Tip structură	Variația temperaturilor	Variații fluxuri de căldură
Perete exterior cu strat redus de izolație		



Precizări

Se observă o valoare mare a pierderilor de căldură, pentru cazul primului tip de perete ce are amplasat un strat de izolație numai la suprafața exterioară, $\Psi_a = 0,526$ față de valoarea $\Psi_a = 0,037$ pentru cazul peretelui ce are prevăzut strat de izolație atât la suprafața exterioară cât și la suprafața pardoselii în contact cu pământul. Transmitanța termică pentru cazul peretelui exterior prevăzut cu izolație este de $U=0,219 \text{ W/m}^2\text{K}$, iar pentru cazul suprafeței pardoselii în contact cu pământul, transmitanța termică are valoarea $U=0,134 \text{ W/m}^2\text{K}$.

CAPITOLUL 6.

SIMULAREA DINAMICĂ A FENOMENELOR DE TRANSFER TERMIC CE AU LOC ÎN CLĂDIRI. STUDIU DE CAZ

6.2.1. Introducere

Simulările dinamice pentru cele două tipuri de clădiri au fost efectuate cu ajutorul programului specializat de simulare dinamică a fenomenelor termice ce au loc în clădiri DYNBIL (Dynamic Building Simulation). Acest program a fost special conceput pentru a permite simularea dinamică a diferitelor tipuri de clădiri, principalul avantaj fiind acela că poate lua în considerare și datele climatice specifice diferitelor zone, permițând în acest fel să se poată determina modul de comportare a diferitelor tipuri de structuri de clădiri în diferite locații, prin variația temperaturilor exterioare pe întreg parcursul unui an [36], [42], [47].

6.3. ANALIZA VARIAȚIILOR DE TEMPERATURĂ INTERIOARĂ ȘI NECESARURILOR DE CĂLDURĂ PENTRU CLĂDIRI

Se vor analiza variația necesarilor de căldură pe fiecare zonă în parte pe fiecare lună pentru cele două tipuri de clădiri considerate. S-au considerat 2 clădiri cu aceeași suprafață și volum construit diferind însă materialele de construcție utilizate și se va varia de asemenea zona climatică, în vederea determinării diferențelor de pierderi de căldură, respectiv producerea supraîncălzirii pentru cazul zonelor climatice călduroase [36].

Vom prezenta în continuare variația necesarilor de căldură pentru fiecare tip de zonă climatică pentru cele două clădiri analizate: clădirea mai puțin eficientă și cea eficientă: datele climatice sunt pentru zona Craiova, Cluj, Bucuresti (România) și Frankfurt (Germania).

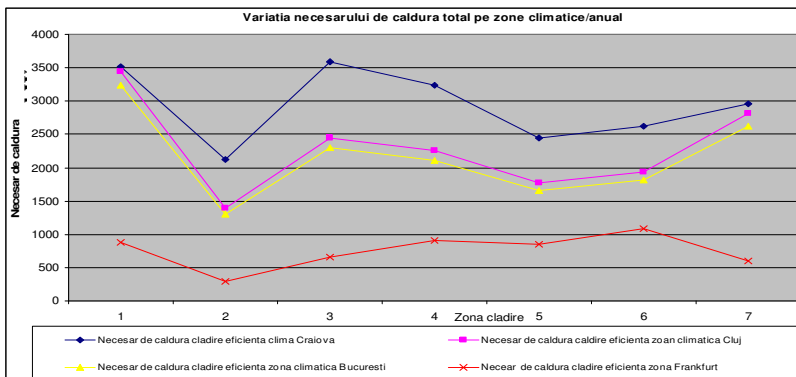


Figura 6.27. Analiza necesarilor de căldură totale pe fiecare dintre cele 7 zone funcție de 4 zone climatice din România și Germania (Frankfurt), pentru un an, pe fiecare zi, cazul clădirii eficiente energetic

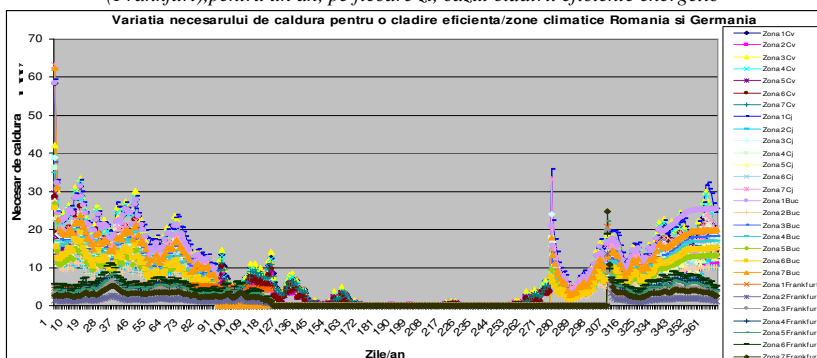


Figura 6.28. Analiza necesarilor de căldură pe fiecare dintre cele 7 zone funcție de 4 zone climatice din România și Germania (Frankfurt), pentru un an, pe fiecare zi, cazul clădirii eficiente energetic

6.4. INFLUENȚE ASUPRA BILANȚULUI ENERGETIC AL CLĂDIRILOR

6.4.1. Influența datelor climatice

O importanță deosebită în analiza eficienței energetice a clădirilor o au și datele climatice caracteristice zonelor unde este amplasată clădirea. Temperatura exterioară influențează variația temperaturilor interioare pe parcursul sezonului rece și inclusiv variația necesarilor și pierderilor de căldură anuale. S-a analizat influența datelor climatice pentru diferite zone din România (Craiova, Cluj, Bucuresti) și din zona de SV a Germaniei, respectiv zona climatică Frankfurt [74], [81].

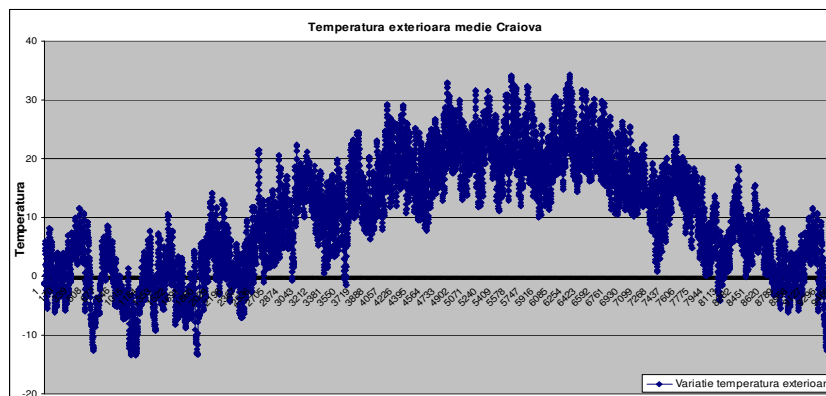


Figura 6.29. Date climatice pentru zona Craiova, obținute prin intermediu programului de simulare a datelor climatice Metronorm

Precizări

În figura 6.29 este prezentată analiza variațiilor de temperatură pe fiecare zi pentru zona climatică Craiova.

Figurile 6.27 și 6.28. prezintă analiza necesarurilor de căldură totale pe fiecare dintre cele 7 zone funcție de 4 zone climatice din România și Germania (Frankfurt), pentru un an, pe fiecare zi, cazul clădirii eficiente. În cadrul figurii 6.28 se observă faptul că valoarea maximă a necesarului de căldură este de 60 kWh/m²an, valoare care este mult mai mică decât în cazul clădirii obișnuite. Necesariile de căldură sunt determinate pentru cele două clădiri atât pentru zona climatică România cât și Germania, ulterior realizându-se un grafic comparativ între cele două tipuri de zone climatice, rezultând un necesar de căldură mult redus pentru zona climatică a Germaniei.

CAPITOLUL 7.

DESCRIEREA CONCEPTULUI DE CLĂDIRE EFICIENTĂ ENERGETIC .CASA PASIVĂ

7.3. ÎMBUNĂTĂȚIREA COMPORTĂRII TERMICE A CLĂDIRILOR

7.3.1. Analiza necesarurilor și pierderilor de căldură pentru o clădire obișnuită și o clădire eficientă energetic

Tabelul 7.8. Necesariile de căldură pentru clădirea mai puțin eficientă energetic

Zona clădire	Necesar de căldură [kWh/an]	
	Zona climatică 1 (România)	Zona climatică 2(Germania)
Zona 1	5000	1905,43
Zona 2	1555	835,93
Zona 3	3602	1926,59
Zona 4	4417	3950,35
Zona 5	2404	1475,78
Zona 6	2052	1727,43
Zona 7	7064	1399,8
Total	26094	13221,31

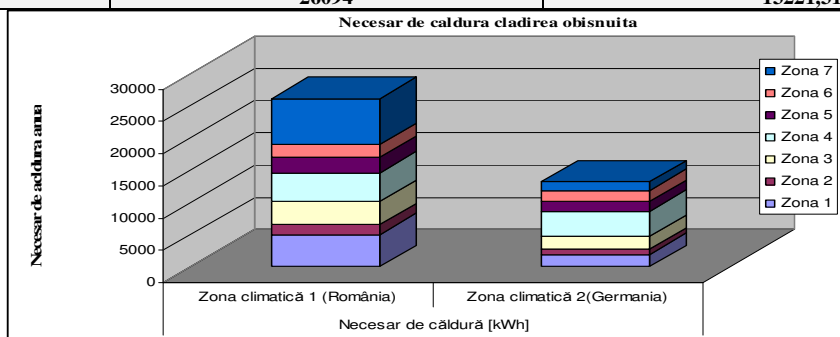


Figura 7.14. Variațiile necesarurilor de căldură pentru cele două zone climatice, cazul clădirii mai puțin eficiente energetic

Tabelul 7.9. Necesariile de căldură pentru clădirea eficientă energetic

Zona clădire	Necesar de căldură [kWh/an]	
	Zona climatică 1 (România)	Zona climatică 2(Germania)
Zona 1	3523,23	878,28
Zona 2	2131,60	296,03
Zona 3	3584,80	663,36
Zona 4	3242,23	901,93
Zona 5	2450,04	849,64
Zona 6	2625,14	1083,60
Zona 7	2956,78	595,51
Total	20513,82	5268,34

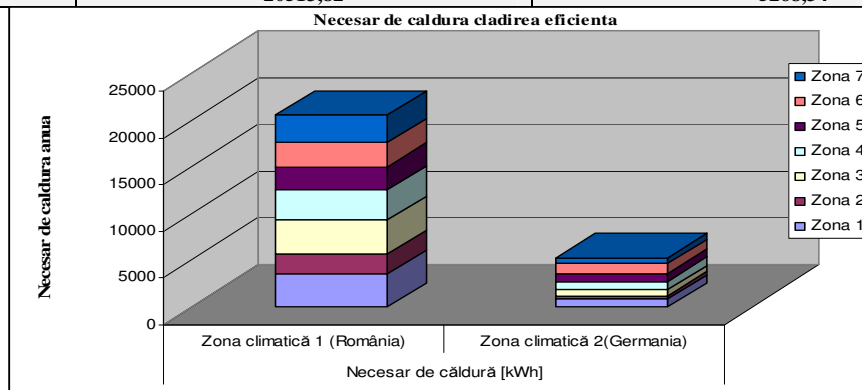


Figura 7.15. Variațiile necesarurilor de căldură pentru cele două zone climatice, cazul clădirii eficiente energetic

Precizări

Capitolul 7 prezintă detaliat conceptul de clădire eficientă energetic și în acest sens s-a realizat o comparație între o clădire considerată mai puțin eficientă energetic și o clădire eficientă energetic.

În acest capitol sunt prezentate o serie de soluții tehnice multiple și complexe punând accent pe optimizarea consumurilor de energie, utilizarea de materiale de izolație performante și îmbunătățirea comportării termice a clădirilor, în contextul strategiilor de eficientizare energetică a clădirilor din România în acord cu politica Uniunii Europene. Se demonstrează că într-adevăr casele pasive eficiente energetic permit obținerea unui confort termic ridicat, cu costuri reduse.

CAPITOLUL 8.

ANALIZA ECONOMICĂ A INVESTIȚIILOR PENTRU DIFERITE TIPURI DE CLĂDIRI

8.2. DETERMINAREA EFICIENȚEI ECONOMICE A CLĂDIRILOR

8.2.1. Analiza economică a măsurilor de modernizare energetică a unei clădiri [111]

Analiza economică a măsurilor de modernizare energetică a unei clădiri existente se realizează prin intermediul indicatorilor economici ai investiției. Dintre aceștia cei mai importanți sunt următorii: *valoarea netă actualizată*, $\Delta VNA(m)$ [lei] ; *durata de recuperare a investiției suplimentare* datorată aplicării unui proiect de modernizare energetică, **TR** [ani]; *costul unității de energie economisită*, e [lei/Gcal].

Tabelul 8.16. Durata de recuperare a investiției suplimentare datorată aplicării soluțiilor de modernizare, cazul clădirii mai puțin eficiente energetic

Zonă climatică	Ck	ΔEk	Tr [ani]
Craiova	4567,27	976,71	4,68
Bucuresti	4053,73	1421,45	2,85
Cluj	4295,85	1486,12	2,89
Frankfurt	2314,15	1392,02	1,66

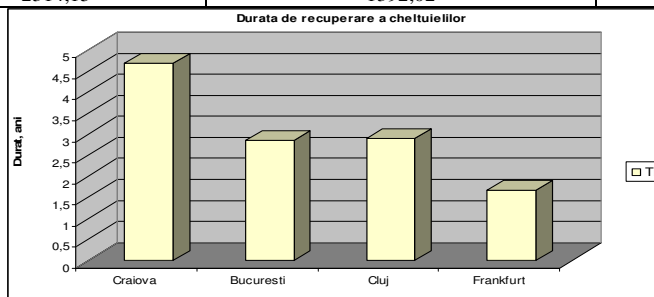


Figura 8.23. Durata de recuperare a costurilor de investiții pentru cazul clădirii mai puțin eficiente

Tabelul 8.17. Durata de recuperare a investiției suplimentare datorată aplicării soluțiilor de modernizare

Zonă climatică	Ck	ΔEk	Tr [ani]
Craiova	3590,56	976,71	3,68
Bucuresti	2632,28	1421,45	1,85
Cluj	2809,72	1486,12	1,89
Frankfurt	922,13	1392,02	0,66

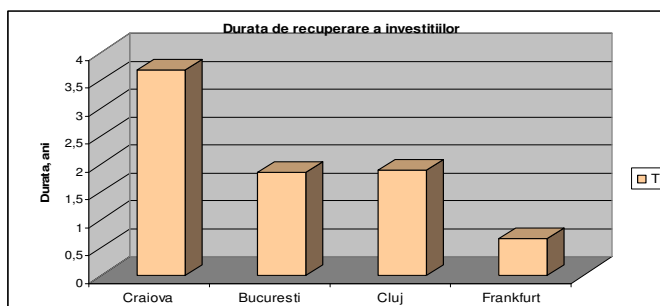


Figura 8.24. Durata de recuperare a costurilor de investiții pentru cazul clădirii eficiente energetic

8.3.3. Precizări

Acest capitol conține o analiză economică aprofundată a măsurilor de modernizare energetică a unei clădiri prin intermediul unor indicatori economici ai investiției. Se prezintă astfel: determinarea și reprezentarea grafică a valorii nete actualizate (VNA) pe zone climatice pentru cele 2 tipuri de clădiri analizate, studiul eficienței economice a soluțiilor tehnice de creștere a performanțelor energetice, analiza costurilor de investiții pentru izolarea clădirilor. De asemenea, s-a urmărit determinarea reducerii prețurilor de cost ca urmare a proceselor de îmbunătățire a performanțelor energetice, costul capitalului investit pentru diferite structuri ale clădirilor. Astfel o clădire eficientă din punct de vedere energetic va fi eficientă și din punct de vedere economic, special prin durata de amortizare a investițiilor și reducerea costurilor de exploatare.

CAPITOLUL 9.

CONCLUZII, CONTRIBUȚII PROPRII, PERSPECTIVE VIITOARE

Domeniul clădirilor este unul foarte vast, astfel că analiza eficienței energetice și economice a clădirilor cuprinde foarte multe de aspecte, pornind de la însă planul fizic de construcție al unei clădiri, aspecte energetice, climatul exterior în care este sau se dorește a fi amplasată clădirea și ajungându-se în final la determinarea duratei de viață a acesteia și la modalitățile de analiză a reducerii costurilor prin diminuarea consumurilor.

Prezenta lucrare are drept scop analiza unor metode de eficiență energetică și economică a clădirilor. S-a urmărit în special determinarea necesarurilor și pierderilor de căldură pentru două tipuri de clădiri prin amplasarea în diferite zone climatice.

Capitolul 1: „Scopul și obiectivele lucrării” prezintă încadrarea științifică a temei acestei lucrări cu justificarea tematicii care constituie obiectul de studiu în domeniul actual al dezvoltării metodelor de eficientizare a structurilor clădirilor existente precum și al celor în curs de construire.

Capitolul 2: „Analiza situației actuale în domeniul clădirilor” este concretizat prin prezentarea problemelor legate de evoluția structurilor clădirilor în contextul evoluției standardelor de locuire în context european.

Capitolul 3: „Analiza termică a elementelor componente ale clădirilor”, are la bază prezentarea principalelor elementele ale clădirilor, cu evidențierea transferurilor care au loc și modul de influență al acestora asupra bilanțului termic global.

Capitolul 4: „Modele matematice pentru analiza comportării termice a elementelor componente ale clădirilor” prezintă în prima parte modele matematice de calcul al bilanțului termic pentru camerele și zonele unei clădiri, scoțându-se în evidență necesitatea utilizării unor metode numerice de rezolvare a sistemelor de ecuații cu derivate parțiale (metode diferențiale explicite și implicite), cu luarea în considerație a criteriilor de stabilitate a acestora. Finalul capitolului prezintă rezultatele obținute cu programe de modelare dinamică a clădirilor (DYNBIL- Dynamic Building) la nivelul pardoselii, acoperișului, peretelui exterior pentru 2 tipuri de clădiri.

Capitolul 5: „Calculul efectelor datorate existenței punților termice și simularea fluxurilor de căldură” este în totalitate consacrat definirii conceptului de *punți termice* la nivelul anvelopei unei clădiri (definiția standard) și soluționării problemelor legate de pierderile de căldură cauzate de punțile termice precum și determinarea valorii transmitanței termice U_f pentru ramele ferestrelor.

În finalul capitolului se prezintă o simulare a punților termice cu reprezentări în format 3D a fluctuațiilor de căldură și fluxurilor de căldură precum și măsuri de evitare a punților termice.

Ultima parte a capitolului prezintă modalități de limitare și eliminare a punților termice.

Capitolul 6: „Simularea dinamică a fenomenelor de transfer termic ce au loc în clădiri. Studiu de caz” prezintă simularea dinamică a două tipuri de clădiri (clădire puțin eficientă energetic și respectiv clădire eficientă energetic) realizate din elemente de construcție diferite, respectiv simularea modului de comportare din punct de vedere termic al acestora în diferite climate.

În prima parte a capitolului este prezentat modul de lucru cu programul de simulare dinamică a clădirilor, DYNBIL, prezentarea schemei logice, descrierea variabilelor de intrare și subprogramele de simulare utilizate în paralel pentru realizarea simulărilor dinamice: METEONORM 6.0 pentru determinarea datelor climatice și HEAT 5.0 pentru simularea dinamică a punților termice și fluxurilor de căldură caracteristice.

Capitolul 7: „Descrierea conceptului de clădire eficientă energetic. Casa pasivă” se referă în special la descrierea conceptului de clădire eficientă energetic „casa pasivă” prezentându-se principiile ce stau la baza conceptului de proiectare al unei case pasive, insistându-se asupra evitării punților termice existente pentru elementele clădirii (cu simularea existenței și respectiv a inexistenței acestor punți termice) și a utilizării izolației din vată minerală ca izolant termic.

Capitolul 8: „Analiza economică a investițiilor pentru diferite tipuri de clădiri” conține o analiză economică aprofundată a măsurilor economice de modernizare energetică a unei clădiri prin intermediul utilizării unor indicatori economici specifici proceselor de realizarea a investițiilor.

Se prezintă astfel: determinarea și reprezentarea grafică a valorii nete actualizate (VNA) pe zone climatice pentru cele 2 tipuri de clădiri analizate, studiul eficienței economice a soluțiilor tehnice de creștere a performanțelor energetice, analiza costurilor de investiții pentru izolarea clădirilor. S-a realizat o analiză economică a celor două tipuri de clădiri, cu determinarea costurilor de capital investit, costurilor suplimentarea datoarte creșterii eficienței energetice, determinarea reducerii necesarului de căldură, a perioadei de recuperare a investițiilor și a duratei de viață.

Capitolul 9: Concluzii, contribuții proprii, perspective viitoare

9 2. Contribuții proprii

- Simularea dinamică a clădirilor prin implementarea unui algoritm de calcul în cadrul programului specializat DYNBIL- Dynamic Building. S-a realizat simularea a două tipuri de clădiri: o clădire cu o structură mai puțin eficientă energetic, respectiv o clădire eficientă energetic și simularea acestora în cazul diferitelor zone climatice.

- Analiza rezultatelor obținute prin modelare și simulare pe calculator cu programe de modelare dinamică a clădirilor (DYNBIL- Dynamic Building) la nivelul pardoselii, acoperișului, peretelui exterior pentru 2 tipuri de clădiri.

- Utilizarea unor programe dedicate în vederea comparării rezultatelor obținute, PHPP (Passive House Planning Package), program ce permite certificarea clădirilor pasive.
- Determinarea și simularea datelor climatice pentru diferite zone de pe glob utilizând programul de simulare în timp real a condițiilor de mediu Metronorm 6.0.
- Simularea dinamică a punților termice existente, cu ajutorul programului de simulare dinamică în domeniu bi și tri-dimensional HEAT 5.0, analizându-se cu acesta 3 structuri: perete exterior în contact cu pământul fără izolație termică; perete exterior situat la nivel cu pardoseala peste subsol cu izolație termică pe exterior; perete exterior situat la nivel cu pământul prevăzut cu izolație termică pe suprafața exterioară și la nivelul pardoselii.
- Simularea și determinarea valorilor pierderilor de căldură la nivelul punților termice care pot apărea în cadrul elementelor componente ale clădirilor, s-au determinat valorile acestor coeficienți prin simulări dinamice și comparații cu valori standardizate, putând realiza comparații între valori calculate cu ajutorul programelor de simulare și cele prevăzute în standardele de specialitate.
- Calculul pierderilor de căldură la nivelul pământului, în conformitate cu algoritmul de calcul din EN 13370. Algoritmul are în considerare și efectele produse de existența punților termice și cele produse de existența apei subterane.
- Trasarea reprezentărilor grafice ale variațiilor de temperatură, fluxurilor de căldură, liniilor izotermice la nivelul structurii clădirii.
- Reprezentarea în format 3D a fluctuațiilor de căldură și fluxurilor de căldură în cazul punților termice, determinarea temperaturilor la nivelul suprafețelor la limită.
- Determinarea radiațiilor ultraviolete la nivelul suprafețelor ferestrelor considerând efectele geometriei, orientării, și proprietăților termice ale ramei și geamului, Coeficienții de pierdere de căldură datorate punților termice și climatului.
- Calculul și reprezentarea grafică a costurilor de capital investit, costurilor suplimentare cauzate de creșterea eficienței energetice, reducerii necesarului de căldură, a perioadei de recuperare a investițiilor și a duratei de viață, pe zone climatice pentru cele 2 tipuri de clădiri analizate.
- Prezentarea unor soluții de creștere a eficienței energetice și economice, prin analiza unor cazuri concrete, compararea rezultatelor obținute atât din punct de vedere al indicatorilor energetici cât și economici.
- Calculul costurilor cu energia, determinarea costurilor de investiții, evaluarea indicatorilor economici cu ajutorul graficelor.

9.3. Perspective viitoare

Având în vedere complexitatea problemelor abordate în cadrul acestei teze de doctorat, se deschid noi perspective de continuare a studiului cercetărilor privind noi direcții de cercetare în viitor și anume:

- analiza tipurilor de clădiri construite în România și compararea valorilor necesarului și pierderilor de căldură pentru diferite tipuri de clădiri, inclusiv cele reabilitate caracterizate de factori termici mult mai eficienți.
- analiza comparativă a diferitelor elemente componente ale clădirilor din România și comparația cu elemente componente ale clădirilor din alte țări, cu punerea în evidență a diferențelor înregistrate în ceea ce privește valorile coeficienților termici caracteristici: rezistențele termice, transmitanțele termice, factorul global de izolare termică, etc.
- realizarea de programe de simulare mai performante pentru clădiri și comparația cu alte programe de simulare specializate.
- analiza posibilității de realizare a unor clădiri pasive eficiente energetic cu simularea datelor climatice pentru diferite zone din țară și stabilirea soluțiilor celor mai eficiente zone de construire a acestor tipuri de clădiri, împreună cu stabilirea elementelor caracteristice fiecărui climat analizat.
- măsuri și soluții concrete de realizare a structurii clădirilor eficiente energetic, cu detalierea pentru fiecare caz în parte analizat.
- studiul unor clădiri pasive eficiente energetic pentru cazul în care acestea au prevăzute sisteme de ventilație și sisteme de încălzire suplimentare.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

[6] ASHARE Standard 90.1-1999

Digă, S., Maria., Rușinaru, D., **STAN IVAN, F.E.**, *Contributions to Analysis of Energetical Performances of Auxiliary Equipments of Luminaries*, the 9th International Conference. Electrical Power Quality and Utilisation. Barcelona, 9-11 October 2007.

Dinu, R. C., Bratu, C., **STAN IVAN, F. E.**, "Influența întreruperii alimentării cu căldură a locuințelor asupra consumului de energie și asupra condițiilor de confort termic interior", Conferința Națională cu participare internațională Instalații pentru Construcții și Confortul Ambiental, Ediția a 16 - a, 29-30 martie 2007 –Timișoara –România.

- [32] Feist W. "Energiebilanz und Temperaturverhalten"; Protokollband Nr.5 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser;Darmstadt,1997
- [33] Feist W. "Passivhaus Sommerklima-Studie"; Passivhaus Institut, Darmstadt 1998
- [34] Feist W., Thermische Gebäudesimulation- Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, Verlag C.F. Muller, Heidelberg, 1994
- [35] Feist W., "Passivhaus Sommerklima Studie", December 1998, Phi doctorate thesis
- [36] Feist W., "DYNBIL DYNamische Gebäude Energie-BILanzen", Symulation programme, 2002
- [37] Feist W., Werner J., "Total energy characteristic value < 32 kWh/(m²a)"; Bundesbaublatt 2/1994
- [38] Feist W., "Darmstadt Kranichstein Passive House - Design, Construction, Results", Information PHI 1997/4, 1. Edition
- [39] Feist W., "Insulated windows in the passive house", Passive House report NR. 9; Institut Housing and Environment; Darmstadt, 1995.
- [53] Heat 2 6.0, Thermal bridges dynamic symulation programm package, 2005
- [73] Mircea, I., Dinu, R.C., Bratu, C., **STAN IVAN, F.E.**, *Heating system using regenerable energy sources*, Forum Regional al Energiei – FOREN 2006. organizată de Consiliul Mondial al Energiei (CNRCME), NEPTUN 13-17 iunie, 2006.
- [82] **STAN IVAN, F.E.**, Popescu D., *Eficiența energetică și economică a unei pompe de căldură, utilizată pentru încălzirea și prepararea apei calde menajere necesare unui imobil cu birouri*, Conferința Socer 27-28 septembrie, Craiova, 2007.
- [87] Rușinaru, D., Mircea, I., Digă, S.M., **STAN IVAN, F.E.**, *Power quality between necessity and tradition in master courses curricula of Romanian electrical engineering faculties*, the 9th International Conference. Electrical Power Quality and Utilisation. Barcelona, 9-11 October 2007.
- [91] **STAN IVAN., F. E.** , Mircea, I., "Saving energy possibilities analise using dynamics energy cost ", Conferința de Inginerie Energetică, Energie curată și accesibilă, SIER, 7-8.07. 2007, Filiala Oradea, Băile Felix 2007
- [92] **STAN IVAN, F.E.**,MIRCEA, I, "Analiza economică a problemelor de eficiență energetică", 2006
- [93] **STAN IVAN, F.E.**,MIRCEA, I, "Calculul parametrilor de performanță termică a clădirilo"r, Conferința Eficiența Energetică în Clădiri - Prezent și Viitor, București 3-4 Decembrie 2007
- [94] **STAN IVAN, F.E.**, *Proiectarea asistată a clădirilor*, Referat teză doctorat I, 2006
- [95] **STAN IVAN, F.E.**, *Transfer de căldură și masă*, Referat teză doctorat II, 2006
- [96] **STAN IVAN, F.E.**, *Optimizarea energetică a clădirilor*, Referat teză doctorat III, 2007
- [97] **STAN IVAN, F.E.**, *Studiul eficienței energetice și economice a clădirilor*, Referat de sinteză teză doctorat , 2007

Standarde și normative

- [111] Indicativ Mc 001/1–2006 Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor partea I – Anvelopa clădirii
- [112] C107/5 1997 Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție în contact cu solul - Indicativ
- [113] C107/0 Normativ pentru proiectarea și executarea lucrărilor de izolație termică a clădirilor
- [114] C107/1 Normativ pentru proiectarea și executarea lucrărilor de izolație termică a clădirilor de locuit
- [115] C107/4 Ghid pentru calculul performanțelor termotehnice ale clădirilor de locuit
- [116] GP 058 Ghid privind optimizarea nivelului de protecție termică la clădirile de locuit
- [117] * * * Normativ privind stabilirea performanțelor termo-higro-energetice ale elementelor de construcție
- [118] C107/6 Normativ general privind calculul transferului de masă (umiditate) prin elementele de construcție (STAS 6472/4)
- [119] * * *Architect's and Engineer's Guide for Energy Conservation in Existing Buildings, US DOE, 1989
- [120] NP 048-2000, Normativ pentru expertizarea termică și energetică a clădirilor existente și a instalațiilor de încălzire și preparare a apei calde de consum aferente acestora
- [121] EN ISO 10211-1, Standard european de definire,caracterizare și detaliere a elementelor de construcții
- [122] EN ISO 13786, Norm-Entwurf, Performanțele termice la nivelul elementelor clădirilor – caracterizarea termică dinamică - Calculation, 1997