

Universitatea „Babeş-Bolyai” Cluj-Napoca

Facultatea de Geografie

Şcoala Doctorală de Geografie

**INSULA DE CĂLDURĂ URBANĂ ÎN MUNICIPIUL
CLUJ-NAPOCA. EVALUARE ŞI MODALITĂŢI
DURABILE DE COMBATERE.**

-rezumat-

Conducător ştiinţific:

Prof. univ. dr. Dănuţ Petrea

Doctorand:

Ioana Herbel

Cluj-Napoca
2020

CUPRINS:

1. INTRODUCERE.....	8
1.1 CONTEXTUL PROBLEMEI DE CERCETARE.....	8
1.2 PROBLEMA DE CERCETARE	8
1.3 MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI.....	9
1.4 ZONA DE STUDIU.....	10
1.4.1 Prezentare geografică.....	10
1.4.2 Caracterizare demografică.....	12
1.4.3 Evoluția istorică și bilanțul teritorial al zonei studiate	13
1.5 OBIECTIVELE LUCRĂRII.....	14
1.6 ÎNTREBĂRI DE CERCETARE	14
1.7 IPOTEZE DE CERCETARE.....	14
2. INSULA DE CĂLDURĂ URBANĂ. ASPECTE TEORETICE	16
2.1 ICU: DEFINIȚIE, CLASIFICARE, VARIAȚII.....	16
2.2 INTENSITATEA ICUA. DEFINIȚIE ȘI CARACTERISTICI	17
2.3 CAUZELE DEZVOLTĂRII INSULEI DE CĂLDURĂ ÎN MEDIUL URBAN.....	18
2.3.1 Factorii controlabili.....	18
2.3.2 Factorii necontrolabili.....	23
2.4 IMPACTUL ICU ASUPRA MEDIULUI ȘI POPULAȚIEI.....	23
2.5 RELAȚIA DINTRE ICU ȘI VALURILE DE CĂLDURĂ.....	26
2.6 FUNDAMENTE TEORETICE ALE TELEDETECȚIEI ÎN INFRAROȘU TERMAL	27
2.6.1 Detectori TIR. Achiziția datelor.....	28
2.6.2 Domeniul infraroșu termal și ferestrele atmosferice.....	29
2.6.3 Corpul negru. Corpul gri. Emisivitatea. Legile radiației.	31
3. MODALITĂȚI DE EVALUARE A ICU. O REVIZUIRE A LITERATURII DE SPECIALITATE.....	34
3.1 EVALUAREA ICUA ÎN LITERATURĂ.....	36
3.1.1 Măsurătorile în puncte fixe.....	36
3.1.2 Observații meteorologice mobile.....	41
3.1.3 Bilanțul energetic.....	46
3.2 EVALUAREA ICUS.....	47

3.2.1	Preluarea datelor radiometrice cu senzori aeropurtați.....	49
3.2.2	ICUS pe baza imaginilor captate de senzori satelitari	50
3.3	EVALUAREA ICU PRIN METODE MIXTE.....	57
3.3.1	Relația ICUA-ICUS.....	57
3.3.2	Abordarea integrată a ICU.....	58
3.4	EVALUAREA ICU ÎN ROMÂNIA.....	59
3.5	CONCLUZIILE CAPITOLULUI.....	62
4.	DATE ȘI METODE. DESIGNUL DE CERCETARE UTILIZAT PENTRU EVALUAREA ICU.....	64
4.1	DATE ȘI INSTRUMENTE UTILIZATE PENTRU REALIZAREA CERCETĂRII	64
4.1.1	Tipuri de date utilizate în studiu și sursa acestora.....	64
4.1.2	Instrumente.....	69
4.2	METODOLOGIA DE CERCETARE.....	70
4.2.1	Evaluarea insulei de căldură urbană atmosferică (ICUA) prin măsurători directe.....	70
4.2.2	Evaluarea ICUS și a impactului valurilor de căldură asupra LST.	73
4.2.3	Identificarea valurilor de căldură.....	79
4.3	CONCLUZIILE CAPITOLULUI.....	80
5.	REZULTATE ȘI DISCUȚII: CARACTERISTICILE ICU ÎN MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA.....	81
5.1	INSULA DE CĂLDURĂ URBANĂ ATMOSFERICĂ (ICUA)	81
5.1.1	Măsurătorile de primăvară.....	81
5.1.2	Măsurătorile de vară.....	93
5.1.3	Măsurătorile de toamnă	106
5.1.4	Măsurătorile de iarnă.....	119
5.1.5	Sumarizarea rezultatelor măsurătorilor directe.....	125
5.2	ICUS. IMPACTUL VALURILOR DE CĂLDURĂ ASUPRA ICUS.....	132
5.2.1	Intensitatea și configurația spațială a ICUS în data de 7 iulie 2015.....	133
5.2.2	Intensitatea și configurația spațială a ICUS în data de 23 iulie 2015	136
5.2.3	Intensitatea și configurația spațială a ICUS în data de 8 august 2015	138
5.2.4	Impactul valurilor de căldură asupra temperaturii de suprafață.....	140
5.2.5	Sumarizarea rezultatelor obținute pe baza imaginilor satelitare.....	142

6. COMBATEREA ICU. POSIBILE SOLUȚII PENTRU MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA.	143
6.1 COMBATEREA ICU. PRACTICI UTILIZATE ÎN PREZENT	143
6.1.1 Utilizarea unor materiale corespunzătoare pentru anvelopa clădirilor, pavimente și acoperișuri în vederea reducerii albedo-ului.....	144
6.1.2 Amenajarea peisagistică a spațiilor din mediul urban	148
6.1.3 Ventilarea naturală.....	154
6.2 DIRECȚII GENERALE PENTRU FORMULAREA UNEI POLITICI DE COMBATERE A ICU URBANĂ ÎN CLUJ-NAPOCA.....	154
6.3 CONCLUZIILE CAPITOLULUI.....	158
7. CONCLUZII.....	159
LIMITELE LUCRĂRII ȘI VIITOAREA AGENDĂ DE CERCETARE.....	163
BIBLIOGRAFIE.....	165

Cuvinte cheie: *Cluj-Napoca, insula de căldură urbană (ICU), Landsat, temperatura de suprafață a terenului, combatere ICU*

1. INTRODUCERE

Expansiunea fără precedent a limitelor orașelor determină totodată modificarea condițiilor climatice din interiorul acestora, cu un impact deloc neglijabil asupra mediului și populației. Dezvoltarea implică modificări fundamentale ale cadrului natural, generând diferențe semnificative între mediul urban și zonele înconjurătoare din perspectiva valorilor parametrilor meteorologici, a calității aerului și a bilanșurilor energetice.

În ultimele decenii orașele de pretutindeni înregistrează o dezvoltare accelerată, urbanizarea fiind una dintre cele mai importante dimensiuni ale schimbărilor globale contemporane. În prezent, 54% din populația lumii locuiește în zonele urbane, fiind responsabilă pentru 76% din consumul de energie și de emisiile gazelor cu efect de seră (Grubler *et al.* 2012). Mai mult decât atât, până în anul 2050 se preconizează creșterea la 66% a populației urbane (Națiunile Unite and Department of Economic and Social Affairs 2014). Acest fapt implică totodată și extinderea țesutului urban, fiind anticipată în deceniile următoare o creștere masivă a cererii de suprafețe construite (Seto, Güneralp, și Hutyrá 2012; Song *et al.* 2016).

Conform Agenției Europene de Mediu (AEM) în Europa aproximativ 73 % din populație locuiește în orașe (AEM, 2010) și se estimează o creștere la 82 % până în 2020 (Akbari *et al.* 2016). Un raport al Băncii Mondiale nominalizează orașele secundare (cum este și municipiul Cluj-Napoca) ca fiind principalele motoare de creștere în UE (Cristea *et al.* 2017). Scenariul optimist al acestui raport prevede dublarea în următoarea perioadă a populației din zona de studiu. Tot aici, precum și în celelalte orașe est-europene, un alt proces de interes pentru problema de cercetare este industrializarea forțată din perioada comunistă, care a determinat un proces complex de schimbare urbană în orașele postsocialiste, cu influență asupra climatului urban. Peisajul urban a fost transformat radical prin apariția unor unități de producție supradimensionate, precum și a cartierelor de tip “dormitor” menite să găzduiască personalul acestora. Înlocuirea suprafețelor naturale cu suprafețe construite, impermeabile, cu proprietăți calorice distincte și rate de răcire mai mici este cunoscut ca fiind unul dintre principalii factori care determină apariția insulei de căldură.

Zona de studiu

Județul Cluj este situat în jumătatea nord-vestică a țării, la intersecția a trei unități naturale reprezentative respectiv Munții Apuseni, Podișul Someșan și Câmpia Transilvaniei. Din punct de

vedere al reliefului, acesta este caracterizat în principal de dealuri, care ocupă peste două treimi din suprafață.

Cluj-Napoca este reședință de județ și municipiu de rang I conform Legii 351/2001. Situat în partea centrală a județului Cluj ($46^{\circ} 46' N$ și $23^{\circ} 36' E$) la o altitudine medie de 360 m, orașul acoperă o suprafață de 179.5 km^2 . Amplasat în lunca Someșului Mic, de o parte și de alta a acesteia se dispune complexul de terase care ocupă cea mai mare parte a culoarului depresionar. În culoarul orașului pot fi identificate un număr de 7 terase, mai mult sau mai puțin dezvoltate (“Memoriu General La Planul Urbanistic General Al Municipiului Cluj-Napoca” 2012).

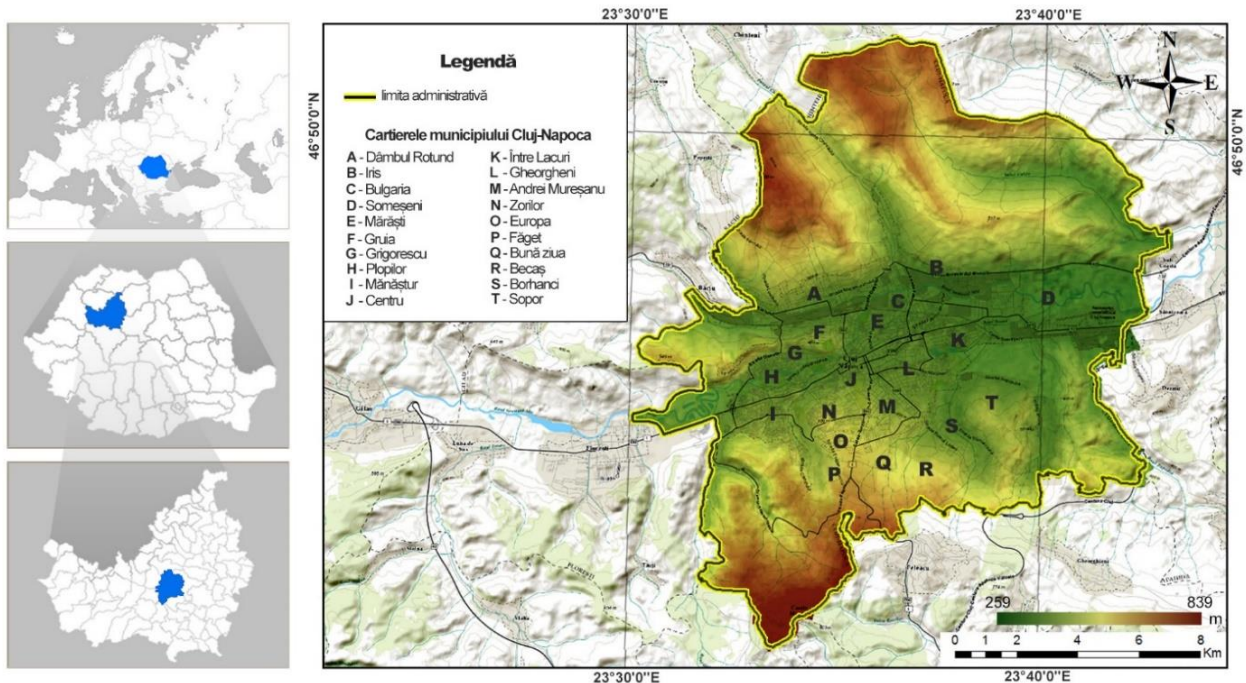


Figura 1.1 Prezentarea și încadrarea în teritoriu a zonei de studiu (sursa: Herbel *et al.* 2017)

În partea de sud-est acoperă spațiul terasei superioare de pe versantul nordic al Feleacului, fiind înconjurat în trei părți de dealuri și coline cu înălțimi între 500 și 839 m (Fig. 1). La sud orașul este mărginit de dealul Feleac, cu altitudinea maximă de 825 m în vârful Măgura Sălicei. În partea de est a orașului se întinde Câmpia Someșană, iar la nord se află Dealurile Clujului cu altitudini maxime în vârful Lombului (648 m) și vârful Dealul Melcului (617 m). Alte dealuri existente în proximitate sunt dealul Hoia (506 m) și dealul Gârbăului (570 m), iar în interiorul orașului se află dealurile Calvaria și Cetățuia (“Memoriu General La Planul Urbanistic General Al Municipiului Cluj-Napoca” 2012).

Hidrografia are un rol extrem de important în reglarea temperaturii aerului. Din acest punct de vedere județul Cluj este caracterizat de o rețea bogată alcătuită din râuri, lacuri și resurse subterane.

Așezarea geografică a municipiului este resimțită și din punct de vedere climatic, acesta fiind unul temperat continental cu veri călduroase și ierni în general lipsite de viscole, specific regiunilor vestice și nord-vestice ale țării.

Regimul eolian, datorită frecvenței și vitezei vântului relativ mici, nu reprezintă probleme deosebite. Aspectul depresionar al reliefului influențează în mare măsură regimul temperaturii prin faptul că favorizează stagnarea aerului rece în părțile joase, ceea ce duce frecvent la formarea inversiunilor de temperatură (Belozarov 1972).

Pe acest fundal al climatului general se diferențiază o diversitate de topo- și microclimate, determinate de specificitatea suprafeței active. Înșușirile diferitelor suprafețe, orientarea, gradul de înclinare, circulația aerului și expunerea față de razele solare determină apariția în municipiul Cluj-Napoca a patru sectoare topoclimatice: topoclimatul de versant sudic, topoclimatul de versant nordic, topoclimatul de luncă și topoclimatul orășenesc (Irimuș *et al.* 2010).

Din punct de vedere demografic, municipiul Cluj-Napoca a cunoscut o creștere accentuată în ultimul secol, numărul de locuitori crescând de 5 ori din 1912 până în prezent. Populația municipiului are o creștere spectaculoasă în perioada comunistă, lucru care poate fi atribuit atât industrializării forțate, cât și politicilor pronataliste susținute de regimul comunist care au ca și punct de plecare Decretul 770/1966. O populație mai numeroasă impune necesitatea construirii într-un ritm alert a unor noi locuințe, acesta fiind contextul apariției cartierelor-dormitor. Ele își pun amprenta asupra geometriei orașelor, unul dintre principalii factori care influențează fenomenul ICU. În ultimii 20 de ani populația s-a stabilizat în jurul pragului de 300.000 de locuitori, înregistrându-se totuși un trend descendent în ultimii ani. Conform recensământului din anul 2011, populația municipiului este de 309.136 de locuitori. Fiind unul dintre cele mai importante centre academice și culturale din țară, pe lângă populația stabilă, municipiul atrage anual și o populație flotantă de studenți, aproximativ 70.000 (“Memoriu General La Planul Urbanistic General Al Municipiului Cluj-Napoca” 2012).

2. INSULA DE CĂLDURĂ URBANĂ. ASPECTE TEORETICE

ICU: Definiție, clasificare, variații.

Urbanizare accentuată din ultimele decenii, materializată prin expansiunea rapidă a limitelor orașelor, a determinat totodată și încălzirea climatului urban. Acest fenomen climatologic presupune concentrarea temperaturilor ridicate ale aerului (dar și a suprafețelor) sub forma unei insule (Sailor 1995). Zonele periurbane și rurale din jurul orașului rămân mai reci. În cazul în care structura este una multicelulară, putem vorbi chiar de un arhipelag de căldură urbană (Unger 2004).

ICU se poate manifesta la nivelul suprafețelor (naturale sau construite), situație în care se discută despre *insula de căldură urbană de suprafață* sau *a suprafețelor* (ICUS) sau la nivelul aerului atmosferic, situație cunoscută sub denumirea de *insulă de căldură urbană atmosferică* (ICUA). *ICUS* apar atât în timpul zilei cât și în timpul nopții, sunt mai intense în zilele de vară și pot fi depistate pe baza imaginilor satelitare în domeniul infraroșu termal. *ICUA* sunt mai intense în timpul nopții, vara și iarna, și pot fi evaluate prin măsurători directe, în puncte fixe și/sau pe profile termice realizate cu diferite mijloace de transport. În timpul zilei, extinderea și intensitatea *ICUA* pot fi modificate consistent de umbrirea datorată prezenței clădirilor.

ICU prezintă *variații periodice* și *neperiodice*. Variațiile diurne sunt foarte pronunțate. În timpul zilei, diferențele de temperatură dintre zonele urbane și cele rurale din vecinătate, chiar și în zilele însorite, calme, sunt destul de mici. În anumite situații, măsurătorile din aeroporturile de lângă orașe pot avea valori termice mai mari decât anumite zone din interiorul orașului (Landsberg 1981).

Spre deosebire de *ICUS* care sunt prezente atât ziua, cât și noaptea, dar care sunt mai intense la amiază, *ICUA* au adesea intensitate mică dimineața și în timpul zilei, dar devin mai pronunțate după apusul soarelui și în timpul nopții prin eliberarea căldurii stocate în structurile urbane (Hove 2011). Momentul acestui vârf depinde de proprietățile suprafețelor urbane și rurale, de sezon și de condițiile meteorologice din timpul colectării datelor (Hashem *et al.* 2016).

În ceea ce privește diferențele de temperatură dintre mediul urban și rural în funcție de anotimp, acestea sunt mai evidente vara și iarna. Cele mai mari diferențe de temperatură au fost observate în nopțile lungi de iarnă, în condiții de câmp anticiclonic, când cerul este senin și predomină calmul atmosferic (Landsberg 1981).

Cauzele dezvoltării insulei de căldură în mediul urban

Formarea ICU se leagă atât de *factori controlabili*, cât și *necontrolabili*. Dintre factorii controlabili amintim în primul rând caracteristicile suprafețelor urbane și structura lor (geometria orașelor). Aceste caracteristici, corelate cu suprafața redusă a spațiilor verzi, influențează în mare măsură intensitatea ICU. Activitatea umană în interiorul orașelor generează așa-numita căldură antropogenică, sursă de căldură nominalizată des în literatură ca și principala cauză a ICU. Poluarea atmosferică contribuie de asemenea la efectul de insulă de căldură, deoarece particulele din aer absorb și emit radiație în interiorul orașului (Gartland 2008).

Geometria urbană

Este incontestabil faptul că cele mai semnificative modificări ale cantității de radiație din interiorul orașului sunt generate de proprietățile suprafeței urbane, caracterizată prin discontinuitate structurală (clădiri, străzi, spații verzi) și prin formă variată. Aceste elemente condiționează modul de receptare și redistribuire a radiației (Fărcaș 1999).

Structurile urbane stochează o mare cantitate de căldură pe parcursul zilei, pe care o eliberează lent în timpul nopții sub formă de radiație infraroșie. Clădirile și pavimentele (mai ales cele realizate din materiale închise la culoare) formează adevărate canioane care mențin energia provenită de la soare în volumul de aer delimitat de acestea (Fărcaș 1999).

Geometria orașelor exercită o influență majoră asupra atmosferei urbane și are un rol decisiv în formarea insulelor de căldură, deoarece radiația solară (din domeniul ultraviolet, spectrul vizibil și infraroșu apropiat) este supusă în spațiul format de structurile urbane unor procese de reflexie succesive, care vor duce în final la absorbția radiației de către pereții clădirilor (Kleerekoper *et al.* 2012). Ulterior ea va fi eliberată prin procese de transfer termic de tipul conducției, convecției și radiației.

Caracteristicile suprafețelor urbane

Efectul de încălzire în interiorul orașului este datorat unui ansamblu de factori, mai degrabă decât unor cauze individuale. Unul dintre cele mai importante aspecte de care se leagă geneza ICU este *înlocuirea în orașe a suprafețelor naturale cu suprafețe construite care au proprietăți calorice distincte și rate de răcire diferite*. Suprafețele naturale sunt constituite în cea mai mare parte din vegetație și soluri care absorb umezeala, având un efect de reglare a temperaturii aerului. Aceste tipuri de acoperire a terenului utilizează o mare parte din radiația absorbită în procesul de evapotranspirație, eliberând vapori de apă care răcoresc aerul cu care suprafețele vin în contact. Pe

de altă parte, suprafețele artificiale sunt *impermeabile*, se caracterizează prin *difuzivitate termică mai ridicată* și *reflectivitate diminuată*, proprietăți care favorizează apariția insulelor de căldură.

Unul dintre factorii principali care contribuie la geneza fenomenului este și *gradul de permeabilitate al suprafețelor*. Materialele de construcție din mediul urban sunt impermeabile, ceea ce determină în primul rând modificarea bilanțului energiei urbane, dar și riscul de inundații și suprasolicitaarea sistemului de canalizare în condiții de precipitații abundente. Aceste materiale nu pot disipa căldura prin evaporație și încălzesc aerul de deasupra, mai ales în timpul nopții când căldura din structurile urbane este eliberată lent.

Principalul factor de care depinde cantitatea de radiație stocată de suprafețele urbane este reflectivitatea acestora. Albedoul este o măsură a reflectivității suprafețelor și este definit ca raportul dintre radiația reflectată și radiația incidentă totală pe o anumită suprafață. Unii cercetători (Oke 1982) consideră că ICU are ca principală cauză faptul că orașele tind să aibă un albedo mai redus decât zonele înconjurătoare.

Căldura antropogenică

ICU este puternic influențată și de *căldura antropogenică*. Acest tip de căldură este generat de activitatea umană în interiorul orașelor care modifică bilanțul energiei urbane. Căldura antropogenică poate proveni de la o gamă largă de surse, însă principalii producători sunt transportul și instalațiile de încălzire, aparatele de aer condiționat și procesele industriale.

Magnitudinea fluxului de căldură antropogenică depinde în primul rând de densitatea populației, dar și de consumul de energie *per capita* (Oke 1988).

Factorii necontrolabili

Intensitatea ICU depinde și de factori necontrolabili de natură meteorologică precum *viteza redusă a vântului* și *gradul de acoperire a cerului cu nori (nebulozitatea)*, întrucât acești parametri reglează cantitatea de radiație care ajunge la suprafața terestră și minimizează eliberarea radiației prin procese de transfer termic de tipul convecției. Vitezele mici ale vântului sau situațiile cu calm atmosferic înlătură căldura mai încet. Cerul senin și vânturile calme reprezintă condiții prielnice pentru apariția ICU, în timp ce un grad ridicat de acoperire cu nori a cerului și vânturile puternice o suprimă.

ICU este influențată și de localizarea geografică. Prezența corpurilor de apă mari în proximitatea orașelor influențează temperatura și generează vânturi care determină convecția căldurii în afara zonelor urbane. Munții din apropiere pot împiedica vânturile să ajungă în interiorul orașelor sau pot crea tipare care să le parcurgă.

3. MODALITĂȚI DE EVALUARE A ICU. O REVIZUIRE A LITERATURII DE SPECIALITATE

În literatură, evaluarea efectelor dezvoltării ICU asupra climatului urban se realizează prin 5 metode diferite, preluarea datelor fiind efectuată în mod direct sau indirect: stațiile sau punctele fixe, observațiile meteorologice de-a lungul rețelei de drumuri, bilanțurile energetice, teledetecția și procesarea imaginilor satelitare și măsurătorile radiometrice pe verticală (Gartland 2008). Primele 3 sunt utilizate pentru evaluarea ICUA, celelalte fiind specifice eforturilor de depistare a ICUS..

3.1 Evaluarea ICU atmosferică în literatură

ICUA poate fi evaluată prin oricare dintre modalitățile prezentate mai sus, cu excepția imaginilor satelitare și a măsurătorilor radiometrice pe verticală, tehnici specifice ICUS. Sunt disponibile astfel măsurătorile în puncte fixe, observațiile meteorologice în mișcare de-a lungul rețelei de drumuri și bilanțurile energetice.

3.1.1 Măsurătorile în puncte fixe

3.1.1.1 Pereche de stații urban-rural

Cea mai simplă metodă de evaluare a impactului urbanizării asupra climatului urban constă în compararea temperaturilor înregistrate în două puncte fixe, unul situat în mediul urban, iar celălalt în zona rurală adiacentă. Utilizarea unor astfel de date necesită o atenție sporită, deoarece punctele de observație din interiorul orașului și din afara lui trebuie să fie reprezentative pentru fenomenul studiat.

3.1.1.2 Rețele de puncte

O analiză mai complexă a ICUA se bazează pe datele colectate de la mai multe stații meteorologice din mediul urban. Aceasta este preferabilă primei metode întrucât ICUA poate fi ușor confundată cu advecția termică sau inversiunile termice, mai ales dacă intensitatea ei este calculată pe baza diferențelor de temperatură dintre un singur punct din zona urbană și unul din cea rurală.

3.1.2 Observații meteorologice mobile.

Măsurătorile de temperatură pe traiectorii prestabilite cu oprire în puncte fixe reprezentative sunt o modalitate eficientă de explorare a caracteristicilor spațiale și temporale a ICUA, demers de cercetare care poate fi realizat în anumite situații doar cu un singur set de instrumente. Pentru deplasarea între punctele fixe de interes, în studiile de climă urbană se utilizează automobilul, mijloacele de transport în comun sau chiar bicicleta.

3.1.3 Bilanțul energetic

Bilanțurile energetice constituie o metodă mai sofisticată de măsurare a insulelor de căldură urbană atmosferice însă, datorită problemelor logistice și metodologice, există puține studii în literatură care utilizează această metodă în centrele urbane dens construite.

3.2 Evaluarea ICUS

Studiul ICUS a luat amploare odată cu dezvoltarea tehnologiilor în domeniul teledetecției, care a deschis noi perspective pentru climatologia urbană. Capacitățile senzorilor de a oferi date de rezoluție spațială ridicată în domeniul infraroșu sunt foarte atractive și valoroase pentru acest domeniu.

Pentru a detecta ICUS prin procesarea imaginilor în infraroșu termal foarte multe studii utilizează temperatura de suprafață a terenului (LST), care este un parametru definitoriu pentru climatul urban.

Pentru examinarea tiparelor spațiale ale ICUS sunt disponibile la momentul actual imagini termale preluate de diferiți senzori, satelitari sau aeropurtați (fixați la bordul avioanelor sau elicopterelor).

3.2.1 Preluarea datelor radiometrice cu senzori aeropurtați

Spațializarea temperaturilor de suprafață cu ajutorul avioanelor sau elicopterelor echipate cu senzori termali prezintă avantajul achiziției unor imagini cu o rezoluție spațială mult mai mare comparativ cu cele preluate din satelit datorită altitudinii de captare mai mică. Cele mai multe studii de evaluare asupra ICU nu utilizează însă radiometria termală cu senzori aeropurtați în mod independent, ci o asociază cu alte metode specifice de examinare a fenomenului.

3.2.2 Evaluarea ICUS pe baza imaginilor captate de senzori satelitari

Examinarea tiparelor spațiale ale ICUS este realizată cel mai des în literatură pe baza imaginilor furnizate de senzori satelitari de rezoluție spațială mică (MODIS, AVHRR) și medie (Landsat, ASTER). LST poate fi derivată din datele spațiale ASTER, AVHRR și MODIS prin toate metodele prezentate anterior datorită multiplelor benzi termale.

3.2.2.1 Obținerea LST din imagini MODIS

MODIS este un instrument fixat la bordul sateliților Terra și Aqua care înregistrează date în 36 de grupuri de lungimi de undă existente (dintre care 3 aparțin regiunii termale) la o rezoluție

spațială cuprinsă între 250 și 1000 m. Orbita satelitului Terra este sincronizată astfel încât acesta traversează de la nord la sud Pământul peste Ecuator dimineața, în timp ce Aqua trece de la sud la nord peste Ecuator după amiaza. Cei doi sateliți vizualizează întreaga suprafață a Pământului la 1-2 zile.

3.2.2.2 Obținerea LST din imagini AVHRR

Radiometrul AVHRR este un detector de radiație care poate fi utilizat pentru a determina nebulozitatea, precum și temperatura de suprafață a pământului, a corpurilor de apă, sau chiar a norilor. Instrumentul conține detectori care colectează date în 6 grupuri de lungimi de undă, dintre care 3 în regiunea termală a domeniului infraroșu.

3.2.2.3 Obținerea LST din imagini ASTER

Radiometrul ASTER este un senzor multispectral plasat la bordul satelitului Terra, cu 14 benzi (dintre care 5 termale) care furnizează imagini cu rezoluția spațială cuprinsă între 15 și 90 m. Este de asemenea și unul dintre principalele instrumente utilizate în literatură pentru investigarea fenomenului ICUS. Astfel, temperatura de suprafață poate fi obținută din aceste produse printr-un algoritm hibrid dezvoltat de echipa proiectului care utilizează contrastul spectral, separând temperatura de emisivitate (TES).

3.2.2.4 Obținerea LST din imagini Landsat

Datorită caracteristicilor tehnice, precum și a accesibilității ridicate a scenelor satelitare, cele mai multe studii utilizează astfel de imagini pentru evaluarea ICUS. Principalele teme abordate în literatura de specialitate se referă la variația temporală a ICUS, la examinarea structurii spațiale a acesteia în raport cu caracteristicile suprafeței urbane (5-8 clase de acoperire/utilizare), precum și la relația temperaturii de suprafață cu diferiți indici (în special cei de vegetație).

3.2.2.5 Abordarea multisenzor

La momentul actual nu există niciun senzor satelitar care să furnizeze date calitative din toate aceste puncte de vedere. Senzorii satelitari de rezoluție spațială medie (precum ASTER și Landsat) au un timp de revizitare mic, de aproximativ 15 zile. Pe de altă parte, cei cu timp de revizitare mare (precum AVHRR și MODIS) furnizează imagini de rezoluție slabă. În consecință, anumiți cercetători au adoptat o abordare multi-senzor, care combină scene satelitare de la senzori cu caracteristici diferite, sensibili în domeniul infraroșu termal.

3.3 Evaluarea ICU prin metode mixte

Cercetarea variațiilor spațiale și temporale ale ICUA sau ICUS, poate fi efectuată și prin metode mixte. În literatura de specialitate, utilizarea acestei abordări are ca obiectiv principal identificarea gradului de corelație dintre ICUA și ICUS, dar și caracterizarea mai precisă a fenomenului. Metodele mixte pot fi aplicate fie pentru identificarea insulei atmosferice, fie pentru evaluarea simultană a ambelor forme de manifestare ale ICU. Ele implică de regulă măsurători staționare, mobile și radiometrice, în literatură fiind observate diferite asocieri între acestea.

3.3.1 Relația ICUA-ICUS

Una dintre principalele teme de studiu din domeniul teledetecției termale vizează relația ICUA-ICUS și implică modele empirice sau de atmosferă urbană alături de măsurători radiometrice din satelit sau directe, preluate simultan. Chiar dacă în cele mai multe studii se identifică o relație pozitivă între cei doi parametri luați în considerare, legătura ICUA-ICUS rămâne una empirică, fără a fi fost identificată până la momentul actual o relație simplă generală.

3.3.2 Abordarea integrată a ICU

Utilizarea metodelor mixte în vederea obținerii unei imagini de ansamblu asupra ICU reprezintă o altă practică des întâlnită în literatura de specialitate.

3.4 Evaluarea ICU în România

În România au fost inițiate până la momentul actual un număr limitat de studii care vizează ICU, marea lor majoritate fiind efectuate în municipiul București și zona metropolitană a acestuia. Cele mai multe dintre ele implică evaluarea ICUS, dar există și câteva cercetări care examinează ICUA.

În Cluj-Napoca cercetările asupra ICU au fost realizate în cadrul studiilor doctorale prezente. În 2014, Imbroane *et al.* (2014) au analizat ICUS cu ajutorul imaginilor satelitare Landsat și a tehnicilor GIS, observând diferențe importante, între zonele centrale construite și cele periferice. Cercetările efectuate de Herbel *et al.* (2016) pun în evidență prima dată prezența ICUA în municipiu. Ulterior, impactul valurilor de căldură asupra ICUS și economiei locale în timpul a trei evenimente de căldură din vara anului 2015 a fost examinat de Herbel *et al.* (2017). Rezultatele vor fi prezentate în detaliu în capitolul "Rezultate".

4. DATE ȘI METODE. DESIGNUL DE CERCETARE UTILIZAT PENTRU EVALUAREA ICU

Capitolul de față detaliază designul de cercetare propus în vederea atingerii obiectivelor științifice ale lucrării: evaluarea ICUA și a ICUS în Cluj-Napoca, precum și a impactului valurilor de căldură asupra acesteia în zona de studiu.

4.1 Date și instrumente utilizate pentru realizarea cercetării

4.1.1 Tipuri de date utilizate în studiu și sursa acestora

4.1.1.1. Valorile parametrilor meteorologici

În vederea evaluării intensității și extinderii spațiale a ICUA s-au realizat măsurători directe ale temperaturii aerului la 1,5 m față de nivelul terenului, atât în 7 puncte fixe (Figura 4.1), cât și pe trei profile (Figura 4.2), în șapte intervale.

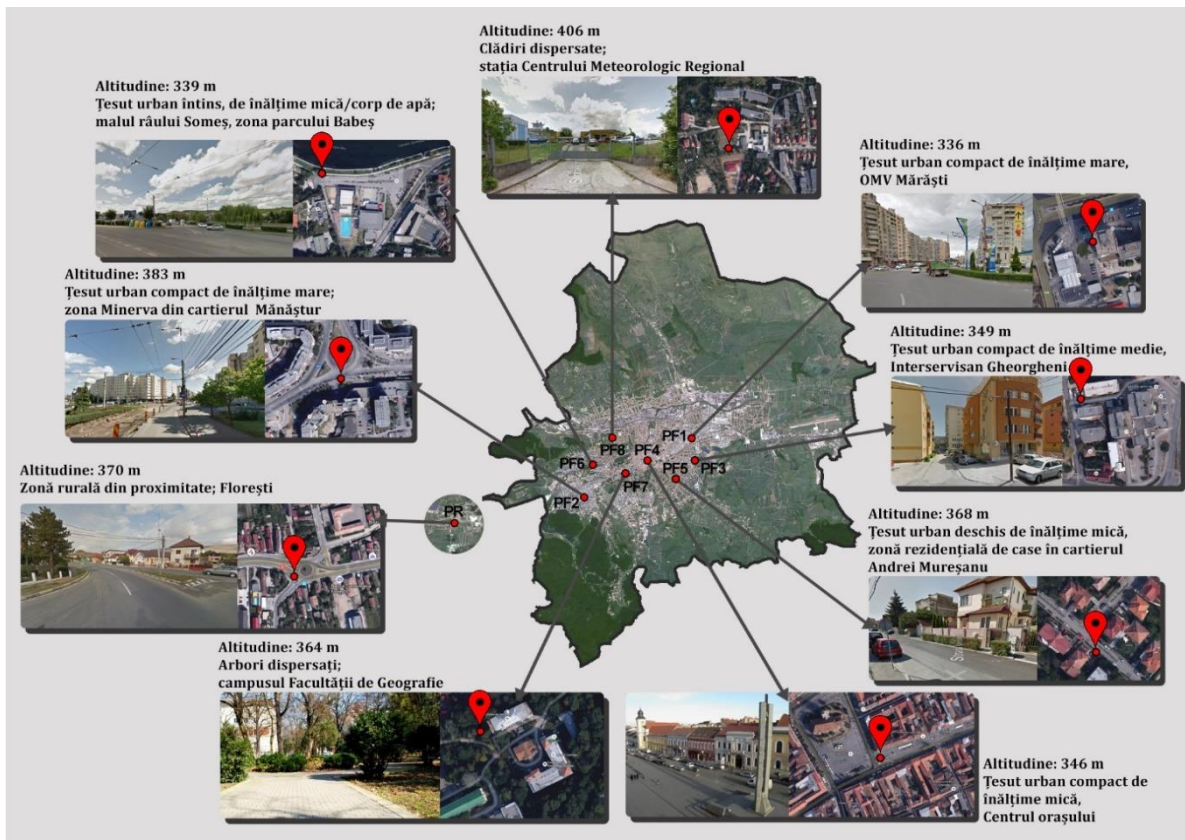


Figura 4.1 Punctele în care au fost realizate măsurători și zonele locale de apartenență

Datele au fost colectate în intervalul mai 2015 - februarie 2016, în cadrul a 7 campanii de măsurători. Acestea au fost alese astfel încât să fie caracteristice fiecăruia dintre cele 4 anotimpuri, în condiții sinoptice care să permită identificarea cât mai bună a ICUA: câmp anticiclonic și cer senin. Cele 7 campanii de măsurători s-au realizat câte două pentru fiecare anotimp, cu excepția iernii când s-a efectuat un singur set de măsurători. Valorile de temperatură au fost înregistrate atât în weekend, cât și în timpul săptămânii, în condiții de presiune ridicată, cu cer senin și viteze mici ale vântului pentru a depista intensitatea maximă a fenomenului, în condiții normale și în timpul valurilor de căldură. Cea mai mare parte a campaniilor de măsurători s-au desfășurat în timpul nopții (când stabilitatea atmosferică este cea mai mare) între orele 23:00 și 03:00 (ora oficială a României), însă una dintre ele, cea realizată în 13-14 mai 2015, s-a derulat pe o perioadă de 24 de ore.

În timpul celor 7 campanii de măsurători, pe lângă observațiile în puncte fixe, s-au realizat măsurători și pe 3 rute simultan, pe direcțiile **EV** (AA', de la intersecția străzii Traian Vuia cu Centura Apahida-Vâlcele până la sensul giratoriu din Florești), **NS** (CC', str. Oașului - Feleac) și **NV-SE** (BB', din localitatea Baciș până în Colonia Borhanci). În Figura 4.3 pot fi observate și capetele profilelor utilizate.

Cele 3 trasee au fost parcurse cu mașina, cu mai multe opriri pe parcurs în funcție de

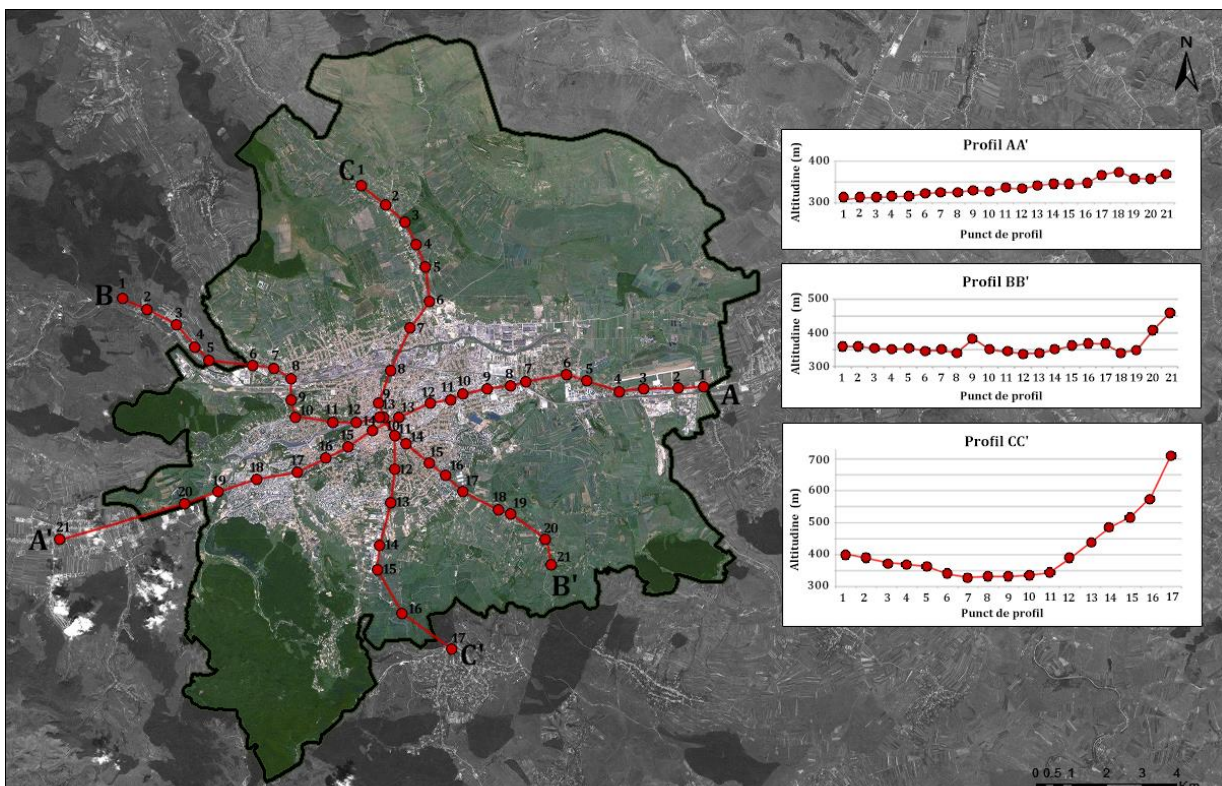


Figura 4.2 Rutele pe care s-au efectuat observațiile meteorologice mobile

modificările de la nivelul țesutului urban (între 17 și 22 de puncte pentru fiecare profil, cu distanță variabilă între ele); observațiile pe fiecare dintre profile au durat în jur de 3 ore. Cel mai reprezentativ pentru observarea ICUA este profilul AA' datorită diferenței de altitudine mai mici (62 m), iar cel mai puțin reprezentativ este CC' (diferență de 380 m) (Herbel *et al.* 2016). În absența aerosondajelor efectuate la Cluj-Napoca, care să ofere informații cu privire la valoarea gradientului termic, această variație mare a altitudinii poate să inducă erori în evaluarea intensității ICUA. Cu toate acestea, ruta CC' a fost păstrată întrucât oferă informații relevante despre anumite tipuri de țesut urban.

Condițiile de suprafață (temperatura, presiunea și umiditatea relativă a aerului) pentru necesare corecțiilor atmosferice aplicate radianței spectrale măsurate de senzor au fost extrase pentru Stația Meteorologică Cluj-Napoca aparținând rețelei meteorologice naționale a Administrației Naționale de Meteorologie (cod WMO 15120) din arhiva electronică a site-ului web Reliable Prognosis (<http://rp5.ru>).

Intervalele cu valori de căldură au fost identificate pe baza temperaturilor zilnice maxime înregistrate la Stația Meteorologică Cluj-Napoca, și furnizate din proiectul *Fenomene meteorologice extreme asociate temperaturii aerului și precipitațiilor atmosferice în România* (FMETPRO) (Croitoru *et al.* 2018).

4.1.1.2 Hărți sinoptice

Pentru alegerea intervalelor de măsurători directe și pentru analiza ICU în condiții de valori de căldură, s-a realizat analiza sinoptică (diagnostică) pe baza hărților de presiune la nivelul mării (SLP) și de geopotential la nivelul de 500 hPa, extrase din arhiva electronică a Centrului Meteorologic din Karlsruhe (<http://www.wetterzentrale.de>), precum și pe baza hărților de presiune la nivelul solului puse la dispoziție de Met Office (<http://www.metoffice.gov.uk>).

Întrucât măsurătorile directe au fost realizate în timpul nopții și imaginile satelitare au fost captate la amiază, s-au utilizat hărți valabile pentru orele 00:00 și 12:00 UTC.

4.1.1.3 Imagini satelitare

Temperatura de suprafață a terenului (LST), ca indicator al ICUS a fost calculată pe baza imaginilor preluate de misiunile Landsat 5, 7 și 8 disponibile gratuit pe website-ul Agenției Statelor Unite pentru Supraveghere Geologică (United States Geological Survey - USGS). Au fost utilizate atât imagini preluate în timpul valurilor de căldură (de bază), cât și imagini de control, preluate în condiții normale pentru îndeplinirea obiectivului științific care vizează impactul valurilor de căldură asupra ICUS.

4.1.2 Instrumente

În ceea ce privește aparatura, pentru realizarea măsurătorilor directe s-au utilizat 2 stații meteorologice portabile produse de compania Davis Instruments, model Vantage Pro2™ și 9 termometre cu mercur normale aflate în dotarea Laboratorului de Meteorologie al Facultății de Geografie și 3 termo-higrometre de mare precizie (0,3 °C) Dostmann P400. În vederea obținerii unei precizii mai mari, atât pentru punctele fixe, cât și pentru cele de pe profil, pentru măsurătorile cu termo-hidrometrele și cele cu termometrele au fost utilizate adăposturi meteorologice mobile, confecționate din carton rezistent în Facultatea de Geografie a UBB. Pentru înregistrarea poziției geografice unde s-au efectuat măsurători a fost folosită aplicația *GPS logger for Android*.

4.2 Metodologia de cercetare

4.2.1 Evaluarea insulei de căldură urbană atmosferică (ICUA) prin măsurători directe

4.2.1.1 Colectarea datelor

Prezentul studiu a vizat realizarea de măsurători în stratul atmosferic adiacent, la nivelul spațiului microclimatic (sub 2 m). În evaluarea ICUA s-a utilizat o metodă mixtă constând în valori de temperatură preluate de-a lungul rețelei de drumuri utilizând stații mobile și valori înregistrate în puncte fixe. În comparație cu metoda clasică a punctelor fixe, avantajul acestei abordări se referă în primul rând la reducerea costurilor demersului de cercetare prin utilizarea unui număr mai redus de stații fixe. Una dintre limitările importante ale măsurătorilor pe profile este incapacitatea de a înregistra temperatura simultan în diferite locații (Gartland 2008). Pentru a combate acest neajuns, pentru măsurătorile realizate pe profile s-au utilizat abaterile față de punctul de referință și nu temperatura absolută, din momentul măsurătorii. În ceea ce privește altitudinea de realizare a măsurătorilor, în literatura de specialitate marea majoritate a studiilor de acest tip (insule de căldură urbană atmosferice din spațiul microclimatic) utilizează ca înălțime de referință 1,5 m de la nivelul suprafeței terestre (Gartland 2008). În consecință, prezentul studiu implică măsurători în puncte fixe și cu stații mobile amplasate la înălțimea recomandată față de nivelul terenului.

Pe întreaga perioadă de realizare a profilelor au fost colectate date și din cele 8 puncte fixe. Intervalul de înregistrare a temperaturilor în punctele din zona urbană și în punctul de referință din Florești a fost de 5 minute (respectiv 10 minute pentru singura campanie de măsurători de 24 de ore, cea din 13-14 mai 2015). Punctele fixe au fost alese pentru a surprinde cât mai bine diferențele de temperatură dintre zonele climatice locale (LCZ) (Stewart și Oke 2012) și punctul de referință. În

Pentru evaluarea ICUA în municipiul Cluj-Napoca s-a propus deci, măsurarea temperaturii în

situații sinoptice diferite, care permit totuși manifestarea fenomenului. Această abordare este utilizată pentru minimizarea riscului de a confunda ICU generată de oraș ca factor climatogen cu o insulă de căldură identificată pe fondul diferențelor topoclimatice sau a advecției maselor de aer (Lowry 1977). Pentru a pune în evidență modul în care orașul influențează temperatura aerului este importantă corelarea profilelor termice cu date de altitudine (aplicarea de corecții), întrucât în literatura de specialitate se recomandă realizarea măsurătorilor în zone urbane, periurbane și rurale de elevație similară.

4.2.1.2 Procesarea datelor

După efectuarea măsurătorilor a urmat etapa de procesare a datelor în care s-a impus aplicarea unor corecții asupra valorilor de temperatură înregistrate. Într-o primă etapă au fost aplicate corecții de altitudine, atât cele din punctele fixe cât și cele de pe profile. În mod normal, această operație se realizează pe baza datelor din aerosondaj, dar întrucât asemenea date nu mai sunt disponibile pentru stația meteorologică a orașului din luna noiembrie a anului 2012, pentru realizarea corecțiilor de altitudine s-a utilizat gradientul termic vertical mediu (3.1).

$$T_{Xcor} = T_X + \frac{\Delta H}{100} \times 0.65 \quad (8)$$

T_{Xcor} = temperatura corectată în punctul B, situat în zona urbană (°C);

T_X = temperatura măsurată în punctul B, situat în zona urbană (°C);

$$\Delta H = H_X - H_R \quad (9)$$

ΔH = diferența de altitudine dintre punctul de observație și punctul de referință (m);

H_X = altitudinea punctului care necesită corecție de altitudine (m);

H_R = altitudinea punctului de referință (A), situat în zona rurală din proximitatea zonei de studiu (m);

0.65 = gradientul termic vertical (la 100 m) (°C).

Pentru valorile de temperatură colectate în punctele fixe au fost necesare doar corecții de altitudine. La cele de pe profile s-a impus și realizarea corecțiilor de timp. În etapa următoare a fost calculată diferența față de punctul de referință extra-urban pentru toate punctele. Abaterea „primară” a fost obținută ca o diferență de temperatură dintre punctul de măsurare din zona urbană și punctul de referință din afara ei. Abaterea finală s-a obținut prin aplicarea corecțiilor de altitudine utilizând gradientul termic vertical mediu și, după caz, a corecțiilor de timp. Dacă temperatura a fost înregistrată simultan în punctul de profil și în cel de referință, atunci abaterea finală a fost obținută cu ecuația (4.3):

$$D = T_{PX} - T_R \quad (10)$$

D – diferența de calculat pentru punctul X (punct de profil) ($^{\circ}\text{C}$);

T_{PX} – temperatura măsurată în punctul (X) de pe profil la momentul t_X ($^{\circ}\text{C}$);

T_R – temperatura măsurată în punctul de referință la momentul t_X ($^{\circ}\text{C}$);

t_x – ora la care a fost înregistrată temperatura în punctul X de pe profil (în ore, minute și secunde, dacă se înregistrează).

Corecția de timp a fost calculată doar pentru acele puncte de profil pentru care momentul prelevării nu a coincis cu măsurătoarea din punctul de referință. Întrucât temperatura în punctul fix a fost înregistrată la fiecare 5 minute, în anumite cazuri măsurătoarea pe profil a fost realizată între două înregistrări din punctul de referință. În acest caz, valoarea corespunzătoare din PR a fost obținută prin adăugarea corecției de timp cu ajutorul formulei (4.4):

$$C_t = (t_2 - t_1) / n \times d \quad (11)$$

C_t – corecția de timp care trebuie adăugată temperaturii din PR ($^{\circ}\text{C}$)

t_1 – temperatura măsurată în punctul de referință înainte de măsurarea în punctul de profil ($^{\circ}\text{C}$);

t_2 – temperatura măsurată în punctul de referință după măsurarea în punctul de profil ($^{\circ}\text{C}$);

n – diferența dintre cele două măsurători consecutive din punctul de referință (minute);

d – diferența dintre măsurătoarea în punctul de profil și măsurătoarea anterioară din punctul de referință (minute).

După aplicarea corecției de timp asupra temperaturii din punctul de referință, abaterea punctului de profil a fost calculată aplicând formula (4.3).

Fiecare corecție trebuie adăugată la valoarea măsurată înainte de a calcula diferența de temperatură dintre punctul din zona urbană și punctul de referință.

4.2.2 Evaluarea ICUS și a impactului valurilor de căldură asupra LST.

Intensitatea și extinderea spațială a ICUS a fost analizată cu ajutorul temperaturii de suprafață a terenului (LST), parametru definitoriu pentru climatul urban și principalul indicator al ICUS. Pentru a cuantifica influența valurilor de căldură asupra ICUS, au fost extrase valorile abaterilor LST pentru 18 pixeli din oraș (corespunzători punctelor de observație) și pentru pixelul în care se afla amplasat punctul de referință din localitatea Florești. S-au utilizat o parte din punctele de pe profilul AA' de la măsurătorile directe. Pentru fiecare imagine din timpul unui val de căldură din vara anului 2015 au fost alese 3-4 imagini de control, captate de sateliți în condiții similare din anii anteriori (Herbel *et al.* 2017).

LST a fost obținută prin integrarea unui set de ecuații într-un model realizat cu ajutorul soft-ului ArcMap 10.2 atât pentru imaginile de bază cât și pentru cele de control, însă algoritmul a fost diferit în funcție de tipul de scenă satelitară utilizat. Astfel, pentru imaginile Landsat 5 TM și Landsat 7 ETM+ din grupul de control, temperatura de suprafață a fost calculată conform procedurii prezentate de Imbroane *et al.* (Imbroane *et al.* 2014). Pentru imaginile Landsat 8 OLI_TIRS, atât cele de bază, cât și cele din grupul de control, metoda de obținere a LST este prezentată mai jos (Herbel *et al.* 2017).

Crearea aplicației pentru obținerea LST din imagini Landsat 8 OLI_TIRS a presupus parcurgerea unui număr de 3 etape, după recomandările oferite de Imbroane (2018) respectiv analiza datelor, proiectarea și implementarea. Procesarea imaginilor satelitare s-a realizat utilizând soft-ul ArcMap 10.2, iar calculul ponderii din suprafața totală specific fiecărei clase (în %) a fost realizat cu ajutorul programului de calcul tabelar Microsoft Excel 2007.

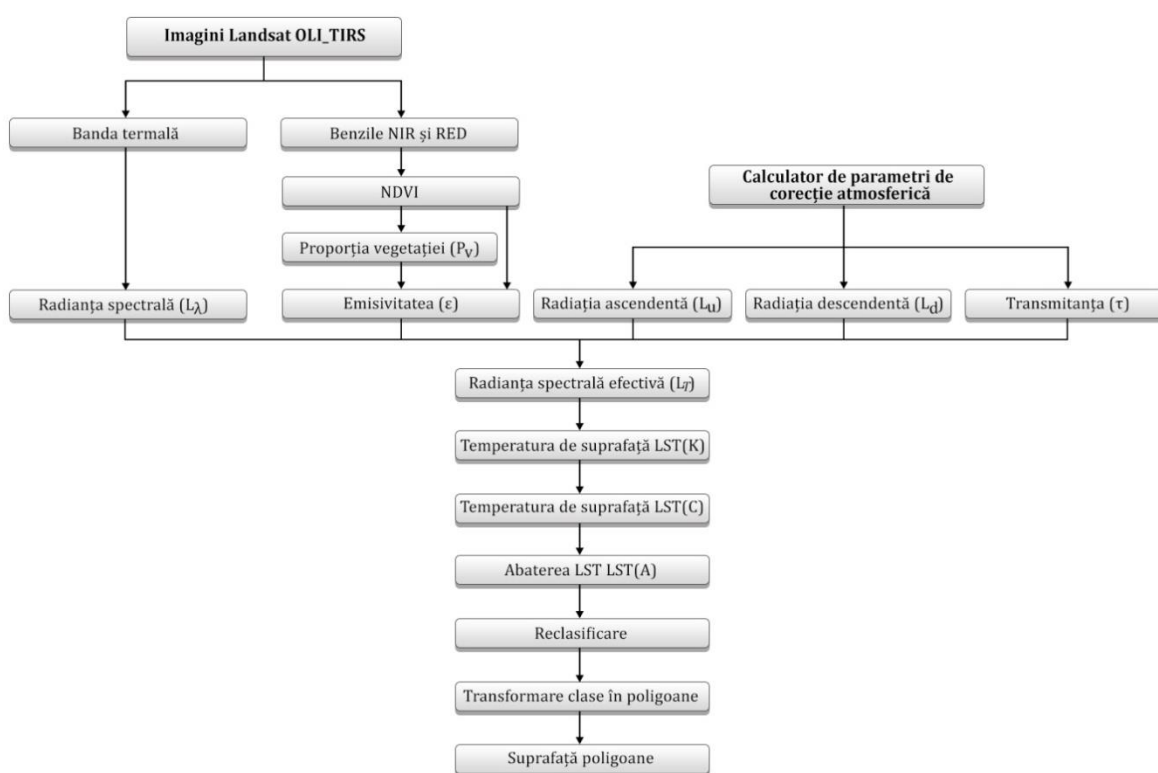


Figura 4.3 Modelul conceptual de evaluare a ICUS în municipiul Cluj Napoca

4.2.2.2 Faza de proiectare

Faza de proiectare a inclus 2 componente: proiectarea datelor și proiectarea propriu-zisă a aplicației. Prima etapă a implicat atât stabilirea definitivă și în detaliu a modelului conceptual, precum și a imaginilor satelitare utilizate în cadrul aplicației și a operațiilor care se fac pe acestea. În etapa de proiectare propriu-zisă s-au identificat intrările, tipurile de operații pentru atingerea obiectivelor științifice și ordinea lor.

Se vor prezenta în continuare ecuațiile integrate în modelul conceptual, așa cum au fost descrise și aplicate de Herbel *et al* (2017). Prima operație din faza de proiectare a fost calcularea indicelui normalizat de diferențiere a vegetației (NDVI), care a servit la obținerea emisivității suprafeței studiate. Harta NDVI a necesitat utilizarea benzilor de reflectanță spectrală în domeniul roșu și infraroșu apropiat (4.5):

$$NDVI = (B5-B4)/(B5+B4) \quad (12)$$

Unde:

B4 – Banda 4 (roșu) a senzorului Landsat 8 OLI

B5 – Banda 5 (infraroșu) a senzorului Landsat 8 OLI

Senzorul TIRS al platformei Landsat 8 captează răspunsul spectral al obiectelor de la suprafața pământului în domeniul infraroșu termal și îl stochează sub formă de numere digitale (ND) care pot fi convertite în radianța la limita superioară a atmosferei (TOA) cu ajutorul factorilor multiplicativ și aditiv listați în fișierul metadata al scenei satelitare. Radianța spectrală TOA a fost obținută prin scalarea numerelor digitale a TIRS-1 (Banda 10), utilizând ecuația prezentată în Manualul Landsat 8 (“Manualul de Utilizare Landsat 8 V 2.0” 2016, 60):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (13)$$

Unde:

L_{λ} – radianța spectrală TOA măsurată de instrument în $W_{\lambda}/(m^2 * sr * \mu m)$

M_L – Factorul multiplicativ de scalare din fișierul metadata

A_L – Factorul aditiv de scalare din fișierul metadata

Q_{cal} – Numerele digitale calibrate (ND)

Semnalul emis de obiectele terestre poate fi atenuat sau accentuat de atmosferă (Barsi *et al.* 2005). Radianța spectrală TOA care ajunge în spațiu unde este captată de senzorul satelitului reprezintă o asociere dintre trei fracțiuni de energie: radiația emisă de la suprafața pământului, radiația care urcă din atmosferă și radiația care coboară din spațiu (Weng *et al.* 2004b). În consecință, radianța spectrală TOA măsurată de instrument a necesitat corecții pentru efectele

atmosferice. Pentru realizarea acestora a fost utilizată o platformă online de generare a parametrilor de corecție atmosferică (disponibilă la adresa <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>) dezvoltată de Barsi (Barsi *et al.* 2005) care integrează codul de transfer radiativ MODTRAN. Parametrii de corecție au fost generați pe baza profilelor pentru partea superioară a atmosferei specifice orașelor de la latitudini medii în perioada verii, curba răspunsului spectral al benzii 10 (Landsat 8) și a condițiilor de suprafață obținute de la stația CMR din timpul trecerii satelitului pe deasupra zonei de studiu.

Cunoașterea acestor parametri a permis calculul radiației care pleacă de la suprafața terestră, după metoda indicată de Yuan și Bauer (2007):

$$L_T = [L_\lambda - L_u - \tau(1 - \varepsilon)L_d]/\tau\varepsilon \quad (14)$$

Unde:

L_T – Radianța spectrală efectivă care pleacă de la suprafața terestră

L_λ – Radianța spectrală TOA măsurată de senzorul TIRS (care ajunge în spațiu)

L_u – Radiația ascendentă din atmosferă L_d – Radiația descendentă din spațiu

τ – Transmisia atmosferică

ε – Emisivitatea obiectelor terestre

Valorile de emisivitate ale obiectelor terestre au fost necesare pentru scalarea radianței specifice corpului negru. Pentru a identifica aceste valori, s-a utilizat metoda pragurilor NDVI propusă de Xiong *et al.* (Xiong *et al.* 2012):

(a) Când $NDVI < 0,05$, $\varepsilon = 0,973$, dar pentru corpuri de apă, $\varepsilon = 0,995$;

(b) Când $NDVI > 0,70$, $\varepsilon = 0,99$;

(c) Când $0,05 \leq NDVI \leq 0,70$, ε se calculează cu (15 și 16).

Când valorile NDVI s-au situat între 0,05 și 0,7, proporția vegetației a fost calculată cu (8), ecuație dezvoltată de Carlson și Ripley (Carlson and Ripley 1997), iar rasterul final de emisivitate a fost obținut prin aplicarea (3.9), metodă creată de Sobrino *et al.* (2004).

$$Pv = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})]^2 \quad (15)$$

Unde:

Pv – Proporția vegetației

$NDVI_{min}$ – valoarea NDVI pentru solul lipsit de vegetație

$NDVI_{max}$ – valoarea NDVI pentru pixelii acoperiți complet de vegetație

$$\varepsilon = 0.004Pv + 0.986 \quad (16)$$

Unde:

ε – Valorile de emisivitate ale pixelilor

P_v – Proporția vegetației de la (4.8)

După calculul radianței spectrale care părăsește suprafața terestră, temperatura acesteia poate fi calculată cu (17) pe baza ecuației lui Planck, adaptată pentru Landsat 8 după formula introdusă de Chander și Markham (Chander și Markham 2003):

$$LST(K) = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_T + 1)} \quad (17)$$

Unde:

$LST(K)$ – Temperatura de suprafață a terenului (în Kelvin);

L_T - Radianța spectrală care pleacă de la suprafața terestră (14);

K_1, K_2 –constante de calibrare pentru TIRS-1 (banda 10); $K_1 = 774.88 \text{ wați}/(\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m})$ și

$K_2 = 1321.07 \text{ K}$

Întrucât temperatura obținută la 17 este exprimată în Kelvin, ultima etapă a algoritmului de obținere a LST este conversia în grade Celsius (18):

$$LST(C) = LST(K) - 273.15 \quad (18)$$

Explorarea intensității insulei a presupus într-o primă etapă calcularea abaterii LST față de punctul de referință din Florești pentru toate imaginile, cu ajutorul uneltei *Raster calculator* din softul Arcmap pe baza (19).

$$LST(A)_i = LST(C)_i - LST(C)_r \quad (19)$$

Unde:

$LST(A)_i$ – Abaterea temperaturii de suprafață a pixelului i față de pixelul de referință, același ca și la măsurătorile directe;

$LST(C)_i$ – Temperatura de suprafață a pixelului i ;

$LST(C)_r$ – Temperatura de suprafață a pixelului r care conține punctul de referință extraurban.

4.2.2.3 Implementarea aplicației

În această etapă au fost puse în aplicare cele stabilite în faza de proiectare, respectiv introducerea datelor și activarea comenzilor în conformitate cu proiectul modelului conceptual. Activarea comenzilor are ca efect obținerea unor hărți noi pe baza celor existente. S-a efectuat secvența de comenzi în conformitate cu algoritmul fixat în etapa precedentă. Imaginile abaterii LST au fost reclasificate cu ajutorul uneltei *Reclassify* în 7 clase de temperatură (°C): <25, 25.1-30, 30.1-35, 35.1-40, 40.1-45, 45.1-50, >50. Ulterior rasterele reclasificate au fost convertite în poligoane cu

funcția *Raster to polygon*, fiind calculată și suprafața fiecărei clase în tabelul de atribut al fișierului .shp cu poligoanele astfel obținute (*Calculate geometry*). Procentele din suprafața totală ale fiecărei clase pentru fiecare dintre cele 3 imagini din vara anului 2015 au fost obținute în soft-ul de calcul tabelar Microsoft Excel, pe baza valorilor din tabelul atribut (Herbel *et al.* 2017).

4.2.3 Identificarea valurilor de căldură

Identificarea valurilor de căldură care au afectat zona de studiu în vara anului 2015 s-a realizat după metoda percentilelor fiind una bazată pe praguri relative, utilizând valorile temperaturilor maxime zilnice înregistrate la Stația Meteorologică Cluj-Napoca. Percentilele 90 (P90), 95 (P95) și 98 (P98) au fost calculate pentru fiecare zi a anului cu ajutorul funcției PERCENTILE integrată în programul de calcul tabelar Microsoft Excel (v 2007). Temperaturile maxime (T_{max}) ale fiecărei zile din vara anului 2015 au fost comparate cu valorile P90, P95 și P98 calculate pentru respectivele zile din an. Au fost selectate ulterior doar zilele în care temperaturile maxime au depășit valorile percentilelor alese. În etapa următoare, s-au identificat ca valuri de căldură doar perioadele de minim 3 zile consecutive în care s-au depășit valorile percentilelor. Intensitatea valurilor depistate s-a considerat a fi moderată pentru zilele în care T_{max} a depășit P90, severă când T_{max} a depășit P95 și extrem de severă când T_{max} a depășit P98 (Croitoru 2014, Croitoru *et al.* 2018)

5. REZULTATE ȘI DISCUȚII: CARACTERISTICILE ICU ÎN MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA

Rezultatelor măsurătorilor directe

Sumarizarea rezultatelor din punctele fixe

Analiza datelor colectate din punctele fixe în cele 7 campanii de măsurători a permis depistarea tipurilor climatice locale și a caracteristicilor țesutului urban favorabile dezvoltării ICUA, dar și a celor care duc la neutralizarea fenomenului. Observațiile au facilitat explorarea intensității ICUA în funcție de anotimp, a amplitudinii abaterilor și a tendinței acestora în intervalul de stabilitate termică relativă.

Valorile cele mai mari față de PR extrarurban au fost semnalate de obicei în tipurile compacte de înălțime mare și medie (Tabelul 5.5). Identificarea abaterilor maxime medii în punctele de observație din alte zone climatice locale se datorează unor circumstanțe speciale precum valul de

Tabelul 5.1 Abaterea temperaturii față de PR, cu corecții de timp și altitudine, în punctele fixe (°C)

	PRIMĂVARA						VARA						TOAMNA						IARNA		
	9-10 mai 2015			13-14 mai 2015			22-23 iulie 2015			7-8 august 2015			24-25 octombrie 2015			29-30 octombrie 2015			22-23 februarie 2016		
	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX
PF1 – compact, înălțime mare	-	-	-	1.9	0.9	3.0	3.2	2.8	3.8	3.1	2.8	3.6	1.5	1.1	2.3	1.5	0.3	2.6	0.6	-0.1	1.6
PF2 – compact, înălțime mare	-	-	-	1.5	0.5	2.3	2.6	1.5	3.3	2.5	1.9	3.3	1.2	0.8	1.6	0.6	-0.6	1.7	1.0	0.1	2.6
PF3 – compact, înălțime medie	1.9	1.1	2.9	2.1	0.9	3.0	2.8	2.5	3.1	2.5	2.1	3.1	1.3	0.8	2.0	0.9	-0.3	2.1	0.1	-0.7	2.3
PF4 – compact, înălțime redusă	1.6	0.6	2.6	1.4	0.8	2.0	2.6	1.8	3.0	2.7	2.2	3.2	1.3	0.7	2.3	1.4	0.1	2.6	1.5	0.6	2.0
PF5 – deschis, înălțime redusă	-	-	-	1.5	0.5	2.5	2.8	2.3	3.2	3.5	3.0	4.1	1.4	0.6	2.2	0.9	-0.6	2.1	0.3	-0.8	1.1
PF6 – apă; întins, înălțime redusă	-	-	-	-0.1	-1.1	0.8	0.1	-0.4	0.6	0.3	-0.4	1.2	0.4	-0.2	1.0	-1.1	-2.5	0.3	-0.6	-1.3	1.3
PF7 – arbori dispersați	0.9	0.6	1.2	1.2	0.1	2.6	2.7	2.4	3.1	3.2	2.7	3.7	1.3	0.4	2.1	1.2	-0.3	2.4	0.6	-0.4	1.4
PF8 – clădiri dispersate	-0.8	-0.7	-1.8	0.4	-0.5	1.8	0.6	0.0	1.0	0.9	0.6	1.3	-1.0	-1.6	0.5	0.1	-1.8	1.1	3.1	1.1	5.5

căldură extrem de sever care a debutat în data de 5 august 2015 sau a unor fenomene meteorologice diferite de ICU.

În data de 7 august 2015, abaterea maximă s-a înregistrat în tipul deschis cu regim de înălțime redusă (PF5 – zonă de case din cartierul Andrei Mureșanu), iar în campania din 22-23 februarie advecția de aer cald a fost detectat în tipul clădiri dispersate (PF8 – stația CMR din cartierul Gruia) diferențe extreme, de până la 5,5 °C față de PR.

Valorile cele mai scăzute ale abaterii au fost observate în majoritatea cazurilor în punctul de pe malul Râului Someșul Mic. Temperatura medie înregistrată în acest punct în campania derulată în noaptea zilei de 29 octombrie a fost cu până la $-1,1$ °C mai scăzută decât cea din PR. În celelalte două seturi de date (9-10 mai și 24 -25 octombrie) abaterea minimă a corespuns punctului de observație de la Stația Meteorologică Cluj-Napoca (zona climatică locală de clădiri dispersate).

În ceea ce privește variabilitatea sezonieră a ICUA, intensitatea maximă a acestuia a fost semnalată în timpul măsurătorilor de vară, urmate de cele de primăvară și toamnă. Datele colectate în timpul iernii sunt insuficiente pentru o astfel de generalizare.

O analiză a graficelor de temperatură alcătuite pe baza observațiilor consecutive realizate la interval de 5 minute sau 10 minute (PF8) pentru fiecare punct în parte (Figura 5.36) indică, de asemenea, manifestarea intensității maxime a ICUA în perioada verii pentru majoritatea cazurilor. Excepție fac în primul rând valorile abaterilor înregistrate pe malul Râului Someșul Mic (PF6), care nu pot fi ierarhizate în funcție de anotimp. Diferențele reduse sau chiar negative față de PR din acest punct se datorează particularităților tipului de microclimat și, mai precis, evaporăției și transferului de căldură care se produc la interfața dintre cele două medii (apă-aer), cu efect de diminuare a temperaturii aerului atmosferic. Spre deosebire de absorbția și radiația statică a materialelor prezente, de obicei, în mediul urban, apa râurilor și particulele în suspensie eliberează căldura înmagazinată în oraș în aval de punctul de absorbție. Acest mecanism, împreună cu procesele prezentate anterior, explică atât temperaturile reduse din PF6, cât și neutralizarea efectului ICUA.

Ierarhizarea abaterilor în funcție de anotimp este dificilă și pentru punctul fix localizat în cartierul Gruia, în incinta Centrului Meteorologic Regional Transilvania Nord. Acest fapt este determinat de caracteristicile țesutului urban din proximitatea punctului (zonă climatică locală cu densitate redusă a construcțiilor și vegetație abundentă), dar mai ales de diferența de altitudine. Dacă celelalte puncte fixe sunt situate între 336 și 383 m față de nivelul mării, altitudinea Stației Meteorologice Cluj-Napoca este de 410 m. Aceste particularități ale punctelor PF6 și PF8 generează temperaturi comparabile cu cele din PR extraurban și indică tiparele eficiente pentru combaterea efectului ICUA.

Ecartul abaterilor față de PR este de aproximativ 4 °C pentru toate seturile de date din toate punctele, cu excepția PF8 în campania din 22-23 februarie 2016, când s-au semnalat abateri extreme de până la 5,5 °C, crescând astfel considerabil amplitudinea termică a valorilor.

În punctele fixe din zonele climatice locale favorabile manifestării ICUA (excepție făcând PF6 și PF8) se poate observa faptul că abaterea față de PR se menține relativ constantă pe parcursul

intervalului de stabilitate termică relativă, în ambele campanii de vară și într-o măsură mai mică și în cea de iarnă. Diferența de temperatură față de PR tinde să se mărească spre finalul intervalului în timpul măsurătorilor de toamnă și să se diminueze în timpul celor de primăvară. Cu toate acestea, datele colectate până în prezent sunt insuficiente pentru formularea unor concluzii clare care vizează aceste tendințe.

Sumarizarea rezultatelor de pe profilele termice

a. Profilul AA'

Efectul ICUA a fost observat în toate seturile de date, însă graficul termic a fost diferit de la caz la caz, sub formă de cupolă (în timpul măsurătorilor de vară și în cea de iarnă) sau concav. Diferențele se leagă de condițiile sinoptice și de circulația locală a aerului, specifică fiecărei campanii. **Forma** este bine diferențiată, mai proeminentă în timpul verii, însă prezența unor valuri de căldură puternice determină extinderea insulei către est și încălzirea puternică a primei jumătăți din profil, mai precis a segmentului care acoperă cartierul Someșeni, fostă localitate suburbană asimilată de municipiu. La finalul toamnei și la finalul iernii fenomenul este mai accentuat în a doua jumătate a profilului, respectiv în jumătatea vestică a orașului.

Zona aeroportului are caracter de *hot-spot* local, de fiecare dată mai cald decât împrejurimile acestuia, fapt datorat urbanizării accentuate din ultimii ani, determinată de intensificarea traficului rutier și aerian și de apariția construcțiilor cu destinație industrială și rezidențială. Variațiile locale pe profil se datorează schimbării tipului de țesut și fenomenului de microadvecție.

Intensitatea maximă a fost depistată în perioada verii, cu diferențe de până la 4,3 °C față de PR. În seturile de date colectate în celelalte anotimpuri, abaterea maximă înregistrată este cuprinsă între 2,0 și 2,6 °C. În majoritatea cazurilor analizate cartierul Mărăști este mai cald, fapt datorat caracteristicilor țesutului urban, cu densitate a construcțiilor și regim de înălțime mai mari, dar și altitudinii mai reduse (localizare pe terasa a II-a a Someșului Mic). În timpul valurilor de căldură abaterea de temperatură crește proporțional cu gradul de urbanizare, suprafețele cu grad mai mare de acoperire cu vegetație menținându-se mai răcoroase.

Amplitudinea termică maximă s-a manifestat în timpul valului de căldură extrem de sever din luna august, dar și la răcirea vremii de la finalul toamnei, fapt legat probabil de aportul de căldură antropogenică provenit de la instalațiile de încălzire. Și **abaterea medie pe profil** a avut valoare maximă la începutul lunii august, de 2,9 °C în timpul valului de căldură extrem de sever.

Intensitatea minimă a insulei pe profilul AA' a fost observată la finalul lunii octombrie, când temperatura din P5 a fost mai redusă cu 1,6 °C decât cea din PR. În general, abaterile negative

apar în cazul punctelor din proximitatea apelor sau a zonelor acoperite cu vegetație și se datorează ratei de răcire mai mare și microadvecției, mai ales în condiții de vreme rece. Abaterile negative s-au semnalat la finalul toamnei și iernii, dar și în prima măsurătoare de primăvară.

b. Profilul BB'

Pe profilul BB' ICUA este vizibilă în fiecare dintre cazurile analizate. **Forma** acestuia diferă de la o campanie la alta, fiind în cea mai mare parte una bine definită.

Zona de intensitate maximă debutează în centrul orașului și este ușor deplasată spre partea sud-estică a acestuia, unde țesutul urban alternează între zone rezidențiale de case cu regim de înălțime scăzut (P+E) și zone rezidențiale de blocuri cu înălțime medie (P+4E). Valorile cele mai mari au fost observate de cele mai multe ori în acest segment (str. Constantin Brâncuși) și mai puțin în partea centrală a orașului. **Intensitatea maximă** a fost semnalată în perioada verii în timpul valului de căldură extrem de sever, cu valoarea de 3,6 °C. În celelalte campanii de măsurători intensitatea maximă este variabilă și se situează între 1,6 (13-14 mai 2015) și 3,0 °C (în prima măsurătoare de vară și în cea de la finalul toamnei). Este cunoscut faptul că ICU poate fi mai proeminentă și în condiții de vreme rece, prin aportul de căldură antropogenică (Tabelul 5.7).

Pe baza datelor analizate (precum și a rezultatelor semnalate în literatură) se poate concluziona faptul că în Cluj-Napoca intensitatea valului de căldură influențează intensitatea insulei. Acest lucru se reflectă și în valorile abaterii medii pe profil, cu 0,8 °C mai mare în timpul valului de căldură extrem de sever față de cel de intensitate moderată (1,8 °C în 7-8 august față de 1,0 °C în 22-23 iulie).

Intensitatea minimă apare de regulă la începutul profilului, în segmentul care acoperă localitatea Baci. Excepție face prima măsurătoare din luna octombrie, când abaterea minimă a fost semnalată într-o zonă verde de lângă Grand Hotel Napoca, pe malul Someșului Mic, unde temperatura a fost identică cu cea din PR, punând în evidență efectul modulator al vegetației și al corpurilor de apă asupra temperaturii aerului atmosferic. Intensitatea minimă a fost, de cele mai multe ori, foarte apropiată de 0, fapt datorat urbanizării accentuate a localității Florești (unde este situat PR) din ultima perioadă. Prețurile mai scăzute ale locuințelor și terenurilor au determinat migrația masivă din Cluj-Napoca, în special a populației tinere, iar acest lucru își pune amprenta asupra temperaturii aerului atmosferic. Cea mai mare abatere negativă, de -4,2 °C (Tabelul 5.7) a fost identificată în cea de-a doua campanie de toamnă, pe fondul răcirii vremii de la finalul lunii octombrie. Scăderea temperaturilor medii zilnice determină în acest context creșterea intervalului valorilor până la 7,2 °C. **Amplitudinea** este dintre cele mai mari semnalate în întreaga perioadă,

fiind determinată probabil de circulația locală și de rata de răcire mai accentuată la ieșirea din localitatea Baci.

Topografia terenului și, mai precis, creșterea altitudinii la ieșirea înspre centura Apahida-Vâlcele a determinat apariția fenomenului de *inversiune termică* în 5 din cele 7 campanii efectuate. În anumite situații chiar valoarea maximă de temperatură apare la capătul profilului, însă aceasta nu poate fi atribuită efectului de ICUA. În graficul realizat pe baza măsurătorilor din luna februarie 2016 abaterea maximă înregistrată (pe fondul inversiunii termice) este de 3,2 °C.

c. Profilul CC'

După cum s-a mai precizat anterior, profilul CC' este cel mai puțin reprezentativ, cu altitudini cuprinse între 331 și 711 m, lucru care determină apariția frecventă a inversiunilor termice la capătul acestuia. Fenomenul a fost semnalat în toate seturile de date, cu excepția celor din 9-10 mai și din 24-25 octombrie. În acest ultim set de date, creșterea bruscă de temperatură de la finalul profilului poate fi un rezultat al inversiunii termice sau cauzată de modificarea tipului de țesut și de mărirea aportului de căldură antropogenică față de punctul anterior.

Forma tipică de insulă, convexă, poate fi observată doar în prima jumătate a profilului, până în partea centrală a orașului. După cum se poate observa în Tabelul 5.8, prezența fenomenului de inversiune termică determină valori extreme ale amplitudinii termice, mai ales în condiții de vreme rece (7,2 °C în 29-30 octombrie și 7,8 °C în 22-23 februarie).

Dacă luăm în considerare doar datele din prima jumătate a profilului unde valoarea abaterilor reflectă prezența ICUA, *intensitatea maximă* a fost observată în zona centrală, efectul fiind mai pronunțat în timpul măsurătorilor de vară. Diferența maximă de 5,6 °C față de PR, observată la intrarea în localitatea Feleacu în 22-23 februarie 2015, este un rezultat al inversiunii termice pronunțate și nu unul al ICUA urbană.

Valoarea cea mai mare a *abaterii medii pe profil* a fost de 1,9 °C, fiind înregistrată în timpul valului de căldură extrem de sever de la începutul lunii august a anului 2015.

Intensitatea minimă a fost identificată de cele mai multe ori la începutul profilului, pe străzile Valea Chintăului și Oașului. Valorile au atins pragul inferior de -3,3 °C în cadrul campaniei din 9-10 mai 2015 (Tabelul 5.8).

5.2 ICUS. Impactul valurilor de căldură asupra ICUS

Apariția valurilor de căldură în timpul verii pe teritoriul țării noastre se leagă în general de

advecția maselor de aer cald dinspre sud sau sud-vest asociate unor sisteme de presiune ridicată, originare din nordul Africii sau din Insulele Azore (Sfică *et al.* 2017). După cum s-a arătat la partea de revizuire a literaturii de specialitate, există suficiente dovezi care indică o relație de amplificare reciprocă între ICU și valurile de căldură. În aceste condiții, s-a încercat explorarea ICUS în timpul unor evenimente extreme de tip valuri de căldură care au afectat zona de studiu în vara anului 2015, în vederea identificării intensității maxime a acesteia.

5.2.5 Sumarizarea rezultatelor obținute pe baza imaginilor satelitare

ICUS a fost examinată în timpul a 3 episoade cu temperaturi extreme din vara anului 2015. Fenomenul a fost depistat în toate situațiile, cu abateri LST față de PR care au depășit 5,0 °C. După cum era de așteptat, valorile cele mai mici au fost observate în zonele acoperite de pădure, spații verzi și corpuri de apă, iar cele mai mari în zonele industriale și comerciale, în centrul orașului, precum și în cartierele dens construite. Chiar dacă țesutul urban din zona estică a orașului este asemănător cu cel din zona vestică (cartierele Mărăști, respectiv Mănăștur), ICUS este asimetrică, mai intensă în jumătatea estică a orașului pentru toate situațiile de valuri de căldură analizate. Briza de munte, dominantă în partea de vest și sud-vest a orașului, combinată în timpul zilei cu microadvecția spre oraș a aerului rece de pădure dinspre SV care deplasează aerul cald spre cartierele din partea de vest, par să fie principalii factori care determină asimetria ICUS, examinată la amiază pe baza imaginilor satelitare Landsat 8. Pentru întreaga zonă luată în considerare, forma ICUS a rămas aproape la fel, însă intensitatea pare să fie influențată de intensitatea valului de căldură.

În cazul valului de căldură extrem de sever s-a produs o intensificare a ICUS, în special în zona centrală și în partea de est a orașului. În timpul valului de căldură sever, intensitatea ICUS este similară cu cea înregistrată în imaginile de control, în condiții normale, fără evenimente termice extreme. Tot în această situație, încălzirea terenului agricol a determinat extinderea ICUS care a cuprins astfel și terenul necultivat din jurul suprafeței urbanizate.

Datorită numărului limitat de imagini satelitare, aceste concluzii preliminare trebuie tratate cu precauție. Se recomandă realizarea unor cercetări suplimentare în anii următori, care să cuprindă un eșantion mai mare de imagini satelitare preluate în timpul valurilor de căldură.

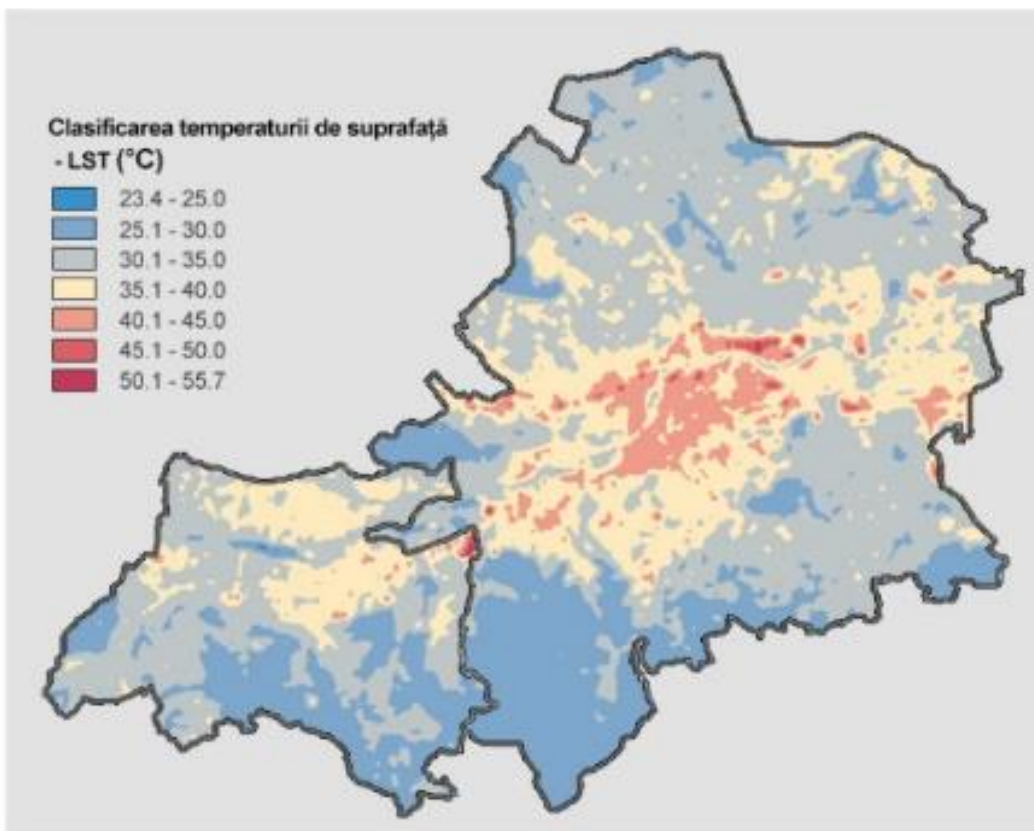
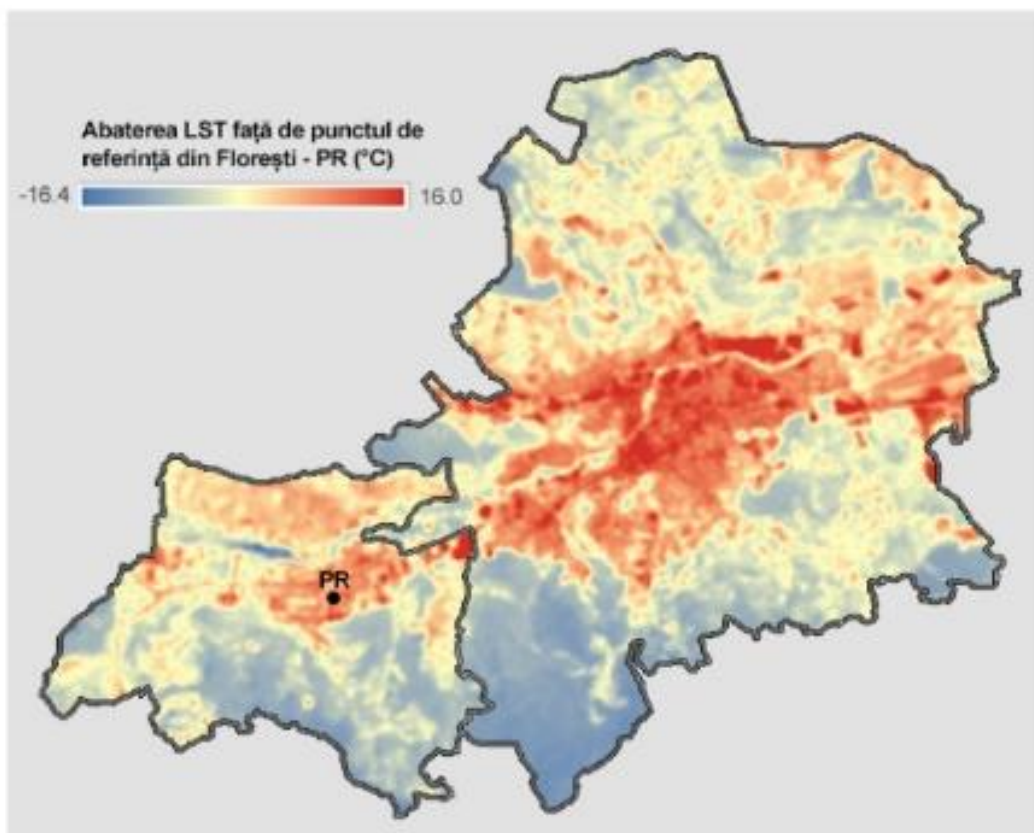


Figura 5.1 Abaterea temperaturii față de punctul de referință din Florești (sus) și clasele LST (jos) în data de 7 iulie 2015, 11 :40 GMT după Herbel *et al.* (2017)

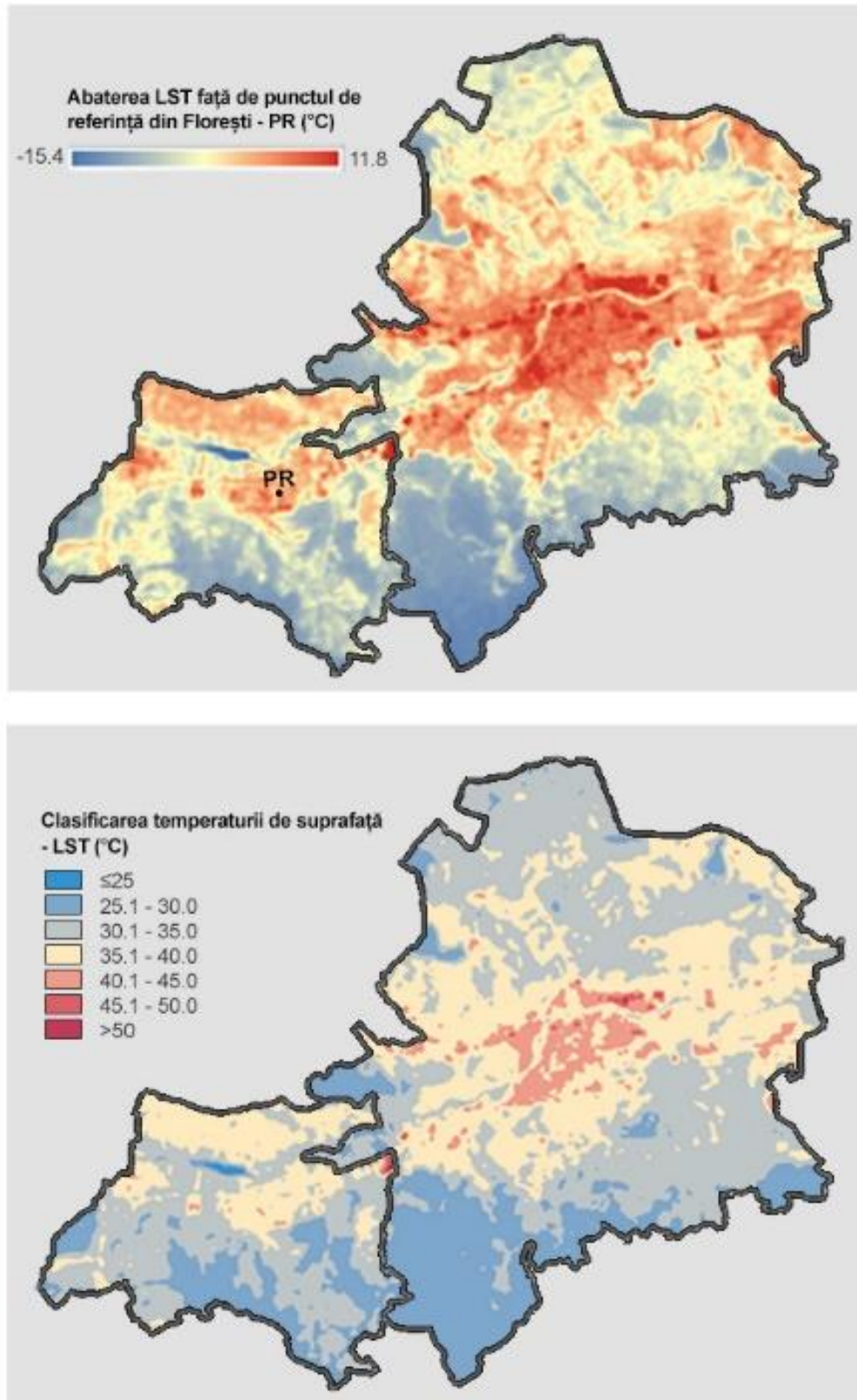


Figura 5.2 Abaterea temperaturii față de punctul de referință din Florești (sus) și clasele LST (jos) în data de 23 iulie 2015, 11 :40 GMT după Herbel *et al.* (2017)

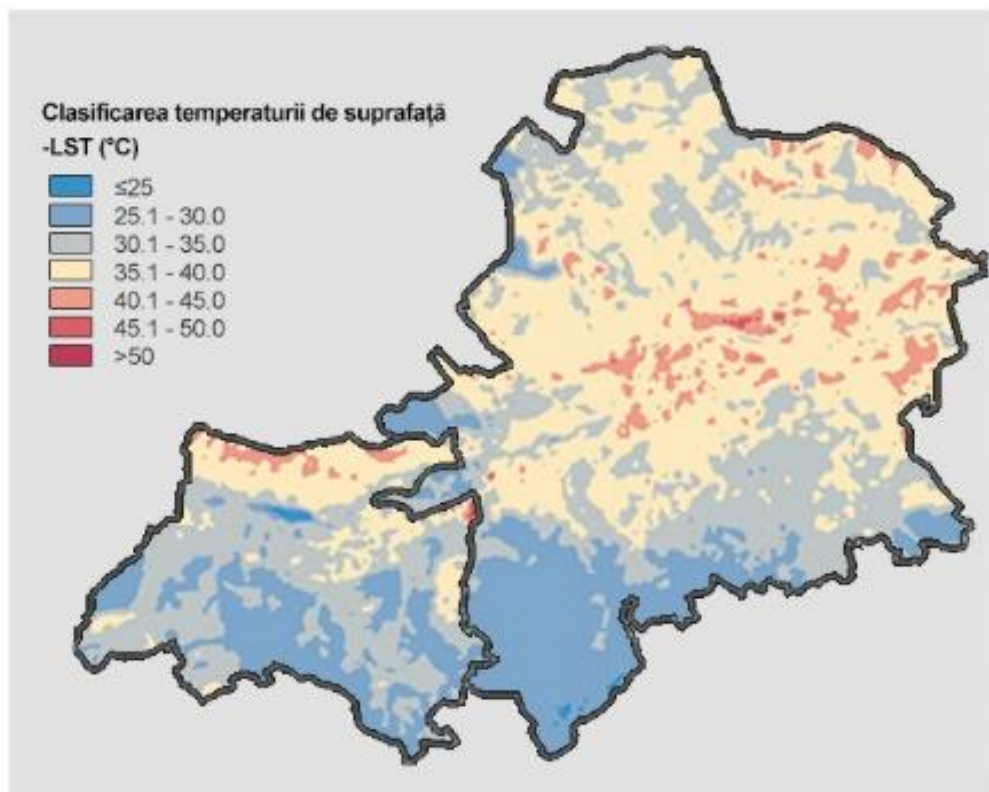
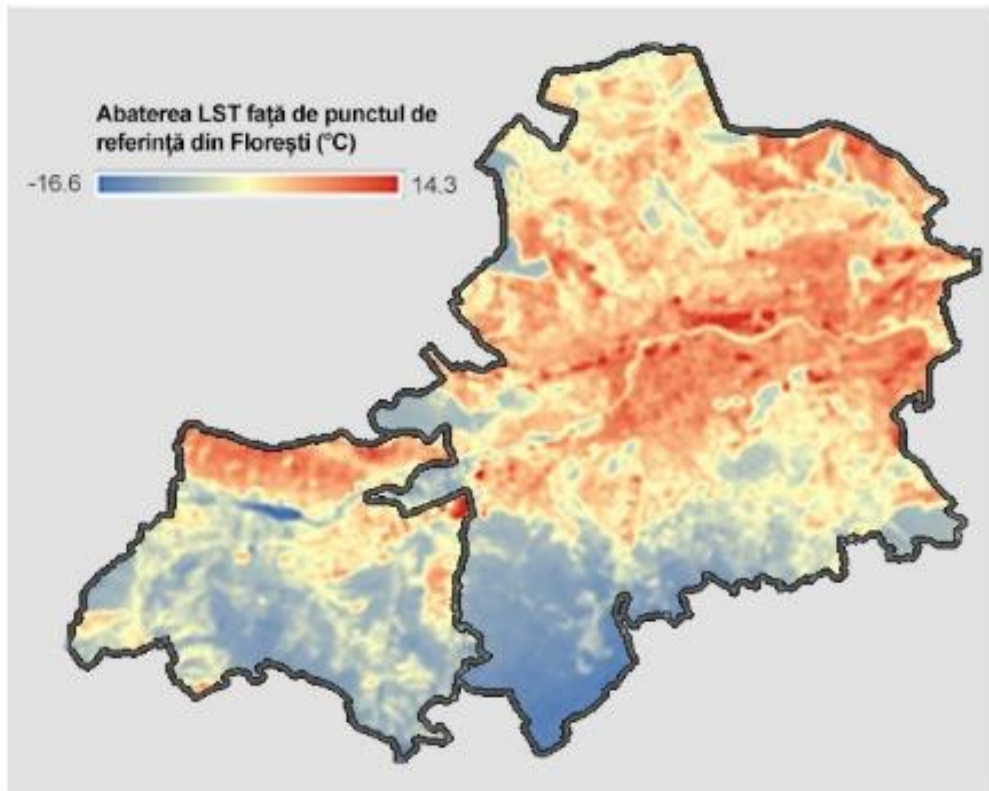


Figura 5.3 Abaterea temperaturii față de punctul de referință din Florești (sus) și clasele LST (jos) în data de 8 august 2015, 11:40 GMT după Herbel *et al.* (2017)

5.2.4 Impactul valurilor de căldură asupra temperaturii de suprafață

Pentru a detecta măsura în care evenimentele de căldură influențează intensitatea ICUS, au fost extrase valorile abaterilor LST pentru 18 pixeli, precum și a punctului de referință din localitatea Florești. Punctele sunt identice cu cele utilizate pentru măsurătorile directe pe profilul AA' care traversează orașul de la E la V.

Pentru fiecare imagine din timpul unui val de căldură din vara anului 2015 au fost alese câteva imagini de control, în zile fără evenimente termice extreme. Acestea au preluat în perioade similare din anii anteriori și prelucrate în demersuri de cercetare similare care au vizat ICUS (Herbel 2013; Imbroane *et al.* 2014).

Chiar dacă pixelii analizați au fost situați de-a lungul rețelei de drumuri, pe traseu au fost depistate câteva diferențe semnificative față de PR, de până la 5,5 °C (Figura 5.43).

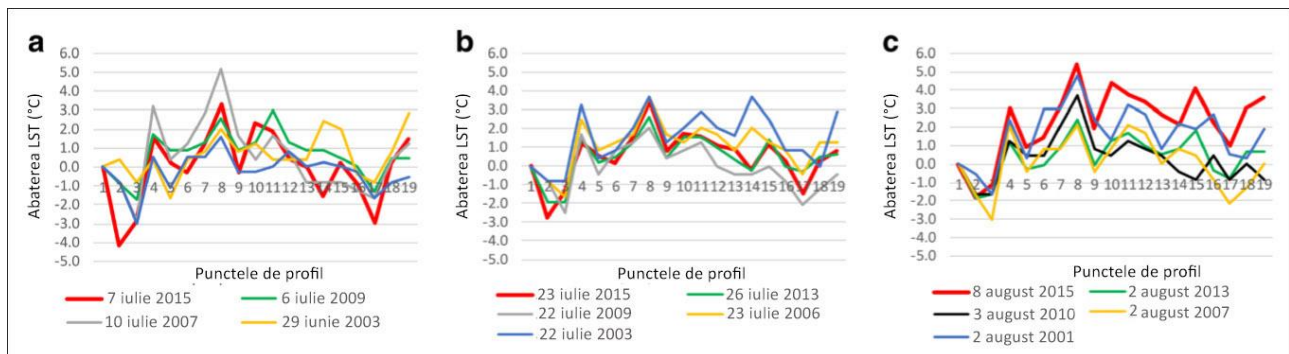


Figura 5.4 Abaterea LST calculată pentru punctele de profil de pe ruta E-V (Aeroport – Florești), la începutul lunii iulie (a), la finalul lunii iulie (b) și la începutul lunii august (c) (după Herbel *et al.*, 2017)

Analiza abaterii temperaturii de suprafață a celor 18 puncte, efectuate atât pentru imaginile de bază (cele din vara anului 2015), cât și pentru cele din grupul de control, indică faptul că intensitatea ICUS crește odată cu intensitatea valului de căldură și pare să fie influențată mai tare de cele extrem de severe. În acest ultim caz, valorile abaterilor față de PR au depășit 5,0 °C în centrul orașului (punctul 8). Tiparele LST au fost similare pentru toate situațiile luate în considerare însă, intensitatea a fost diferită de la o situație la alta (Herbel *et al.* 2017).

În cazul valului extrem de sever, valorile abaterilor față de PR au fost cele mai mari, atât din grupul de bază, cât și din grupul de control. Abaterile din primele două valuri de căldură au valori medii prin comparație cu celelalte valori observate. În această situație, putem concluziona pe baza datelor existente că valurile extrem de severe determină accentuarea ICUS, cele moderate și severe având o influență mult mai mică. Sunt necesare însă cercetări suplimentare pentru a stabili o concluzie clară cu privire la acest aspect (Herbel *et al.* 2017).

6. COMBATEREA ICU. POSIBILE SOLUȚII PENTRU MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA

Dacă până în 2011 au fost raportate observații ale ICU în peste 200 de orașe din întreaga lume, în ultima perioadă studiile de climă urbană se axează mai mult pe partea de combatere decât pe cea de evaluare. Obiectivul prezentului capitol este deci identificarea în literatura de specialitate a unor soluții și practici durabile pentru atenuarea efectelor dezvoltării asupra climatului urban, dar și a rezultatelor obținute în urma implementării lor în diferite locații. Acest demers constituie o condiție *sine qua non* pentru formularea unei strategii de combatere a ICU în Cluj-Napoca, unde intensitatea maximă identificată depășește 3,5°C.

6.1 Combaterea ICU. Practici utilizate în prezent.

În ultima perioadă conceptul de „Infrastructură verde” este tot mai des utilizat, acesta fiind definit ca un ansamblu de elemente antropice care conferă multiple funcții ecologice atât la nivel de clădire, cât și la scară urbană. Dintre aceste funcții, reducerea consumului de energie, a temperaturii ambientale și combaterea ICU au un caracter prioritar (Pérez *et al.* 2014).

Pentru combaterea efectului ICU și diminuarea consumului de energie se pot aplica strategii la nivel de clădire, de cartier, la nivel municipal sau chiar regional. La nivel de clădire, obiectivul este acela de menținere a temperaturilor reduse în timpul nopții, când căldura stocată de structurile urbane este eliberată treptat. În continuare, se vor prezenta o serie de tehnici care au eficiența dovedită pentru atingerea acestor obiective.

6.1.1 Utilizarea unor materiale corespunzătoare pentru anvelopa clădirilor, pavimente și acoperișuri în vederea reducerii albedo-ului

Materialele de construcție întâlnite în mod frecvent în mediul urban pot fi împărțite în 3 mari categorii: cele pentru anvelopa clădirilor, pentru pavimente și pentru acoperișuri.

6.1.1.1 Soluții durabile pentru anvelopa clădirii

Creșterea albedo-ului suprafețelor are un impact direct asupra bilanțului energetic al unei construcții. În zonele calde, modificarea albedo-ului suprafețelor este cea mai promițătoare unealtă pentru reducerea temperaturii aerului, mai ales dacă luăm în considerare costurile inițiale și de mentenanță (Taha *et al.* 1988).

Utilizarea în anvelopa clădirii a materialelor retro-reflexive care reflectă radiația incidentă înapoi pe direcția ei de origine s-a dovedit eficientă în diminuarea radiației încrucișate către clădirile adiacente și rețeaua de drumuri (Akbari *et al.* 2016).

Cercetările actuale vizează și introducerea în anvelopa clădirii a materialelor cu schimbare de fază sau a unor combinații dintre materialele reflective și cele cu schimbare de fază. Spre deosebire de materialele tradiționale sensibile precum cărămida sau piatra, cele de tip PCM (Phase Change Materials) stochează căldura sub formă latentă și pot fi cu până la 8,0°C mai reci decât cele normale, de culoare asemănătoare (Karlessi *et al.* 2011).

6.1.1.2 Soluții durabile pentru pavimente

Pavimentele constituie o parte semnificativă din țesutul urban, cu un aport deloc neglijabil la formarea ICU. Combaterea eficientă a fenomenului la acest nivel impune reducerea fluxului de căldură sensibilă eliberat de pavimente în atmosfera urbană și, implicit, reducerea temperaturii acestora. În prezent sunt disponibile materiale și tehnici moderne pentru realizarea pavimentelor „răcoroase” (Santamouris 2013).

Pavimentele reflective combină suprafețe cu un albedo mare și emisivitate termică ridicată. Dintre tehnicile pentru creșterea albedoului pavimentelor amintim utilizarea aditivilor, precum cimentul cu zgură sau cenușa zburătoare; aplicarea vopselei albe (pe bază de aluminiu, de hidroxid de calciu sau vopsea acrilică elastomerică); aplicarea de vopsele (colorate) reflective în domeniul IR, utilizarea lianților reflectivi și incolori, pavimente pe bază de rășină etc.

Pavimentele poroase sau permeabile, cu sau fără vegetație, constituie alte exemple de pavimente „răcoroase”. Cele fără vegetație se bazează pe un sistem de pori sau găuri prin care poate să circule apa, au de regulă un albedo mai redus decât cele impermeabile și implică fluxuri convective mai accentuate către atmosferă. Dintre acestea amintim asfaltul poros/cauciucat, pavaje de beton interconectat sau grilajele din beton sau plastic umplute cu pietriș (Figura 6.1). Pavimentele permeabile cu vegetație asigură răcirea prin evapotranspirație. Acestea includ pavajele celulare cu

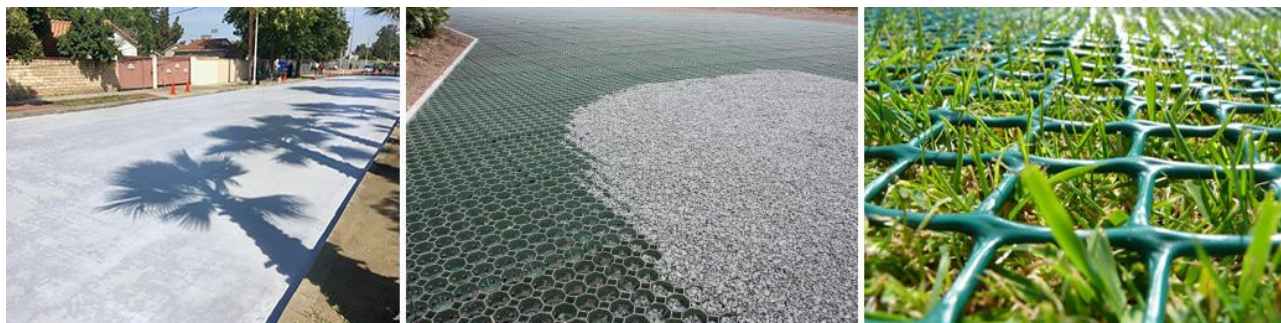


Figura 6.1 Câteva exemple de pavimente răcoroase.

Surse: www.lonelyplanetwpnews.imgix.net; www.terram.com.au; www.amazon.co.uk

iarbă, gazonul armat și rețelele de pavele din beton distanțate care permit ierbii să crească în spațiile dintre ele.

Scăderea temperaturii pavimentelor se poate realiza și prin utilizarea unor *sisteme mecanice*, mai precis circularea unui fluid sau chiar a apei subterane în masa pavimentului pentru a elimina excesul de căldură.

Utilizarea *materialelor cu schimbare de fază* (PCM) pentru pavimente contribuie la diminuarea fluxului convectiv spre aerul atmosferic, amortizând astfel efectul de insulă (Karlessi *et al.* 2011).

Asigurarea umbrei în zonele pavate determină, de asemenea, reducerea substanțială a temperaturii acestora. Umbrirea se poate realiza fie prin soluții artificiale, fie prin soluții naturale, de tipul arborilor și pergolelor verzi.

6.1.1.3 Soluții durabile pentru acoperișuri

Acoperișurile constituie în general 20-30 % din suprafața urbană (Susca *et al.* 2011), iar reabilitarea acestora sau convertirea lor în spații verzi poate avea un impact pozitiv atât la nivel de oraș, cât și la nivel de clădire.

Acoperișurile răcoroase reduc aportul de căldură, cantitatea de energie consumată cu aerul condiționat, contribuie la creșterea duratei de viață a membranei acoperișului, îmbunătățesc eficiența izolării termice și fonice, reduc poluarea aerului și emisia de gaze cu efect de seră și combat efectul ICU (Shahmohamadi *et al.* 2010). După tehnica utilizată, acestea pot fi clasificate în *reflective* (când se urmărește creșterea albedo-ului) și *verzi* (când se amplasează vegetație la nivelul lor, iar scăderea de temperatură se produce datorită evapotranspirației). Ambele contribuie la reducerea fluxului de căldură sensibilă către atmosferă și, implicit, la combaterea ICU.

6.1.2 Amenajarea peisagistică a spațiilor din mediul urban

Designul urban are un rol cheie în combaterea ICU. Reintroducerea spațiilor verzi în orașe se poate realiza sub formă de păduri urbane (parcuri), scuaruri, aliniamente stradale, acoperișuri verzi sau pereți vegetali. Potențialul răcoritor al spațiilor verzi este bine documentat în literatură, pentru diferite latitudini. Prezența vegetației asigură un efect răcoritor de 1-4 °C, care se propagă la 100-1000 m în interiorul zonei urbane, însă este foarte dependentă de cantitatea de apă disponibilă pentru plantă (Kleerekoper *et al.* 2012).

În combaterea ICU, umbra arborilor poate avea un rol semnificativ, prin scăderea cantității de energie consumată pentru răcire, a ratei de convecție termică în interiorul clădirii și prin diminuarea

schimbului de radiație dintre perete și cer. Eficiența umbririi depinde de speciile alese, forma coroanei fiind mai importantă decât densitatea ei.

6.1.2.1 Spațiile verzi verticale

În absența spațiului pentru amenajarea parcurilor și grădinilor urbane, grădinile verticale pot constitui o abordare alternativă pentru combaterea ICU, pe care o reduc în principal prin două mecanisme: evapotranspirația și umbrirea pereților clădirii. Umbrirea este nominalizată în mod frecvent ca fiind cel mai semnificativ aspect al efectului răcoritor al plantelor (asigurat prin interceptarea radiației solare), în care volumul foliajului posedă un rol decisiv (Cameron *et al.* 2014). Suprafețele verzi de tipul pereților vegetali, amplasate în anumite părți ale clădirii sau chiar în interiorul acestora, oferă ventilare naturală, izolare termică și fonică, pot reduce consumul de energie dar și impactul ICU.

În zonele temperate, temperatura înregistrată după amiaza în volumul de aer adiacent unui perete vegetal poate fi chiar și cu 3 °C mai redusă decât în cazul unui perete normal (Cameron *et al.* 2014). Eficiența pereților vegetali în reducerea temperaturii aerului atmosferic depinde însă de mai mulți factori, printre care se numără specia, forma și vigoarea plantei, caracteristicile coroanei, umiditatea și sezonalitatea.



Figura 6.2 Grădină verticală proiectată de Patrick Blanc la Muzeul Quai De Branly, Paris.
Sursa: <http://www.i.pinimg.com>

6.1.2.2 Spațiile verzi orizontale

Crearea unor noi parcuri sau grădini în mediul urban este un deziderat dificil de realizat ca urmare a presiunii pieței imobiliare. În absența spațiilor reziduale care pot fi convertite în zone verzi, suprafețele verzi orizontale pot fi amenajate la diferite nivele, nu doar la cel al solului. Plantarea de arbori, crearea acoperișurilor verzi, a pavimentelor permeabile cu vegetație (care au fost prezentate succint și în secțiunile anterioare) și înlocuirea materialelor standard din parcările publice cu verdeață constituie posibile tehnici pentru combaterea ICU.

6.1.2.2.1 Arborii de umbră și vegetația urbană

Pe lângă valențele decorative, arborii de umbră din mediul urban interceptează radiația solară înainte ca aceasta să încălzească clădirea sau pavimentul, scad viteza vântului sub coroana lor și protejează construcțiile de vânturile reci de iarnă. Arborii de umbră oferă beneficii semnificative atât prin diminuarea temperaturii aerului atmosferic, cât și prin reducerea necesității de utilizare a sistemelor de aer condiționat (Akbari 2005).

6.1.2.2.2 Crearea de acoperișuri verzi

Acoperișurile verzi sunt parțial sau total acoperite cu vegetație amplasată într-un mediu de creștere și care are la bază o membrană impermeabilă. Printre avantajele la nivel de clădire a acestei tehnici de combatere a ICU se numără consumul de energie mai redus, nivelul mai mare de izolare fonică, creșterea durabilității materialelor de pe acoperișuri și un aer ambiant superior din punct de vedere calitativ (Kolokotsa *et al.* 2013). Acoperișurile verzi au un albedo mai mare decât materialele de culoare închisă întâlnite de regulă la acest nivel, contribuie la mărirea suprafeței permeabile din oraș și măresc cantitatea de apă disponibilă pentru evapotranspirație.

6.1.2.2.3 Transformarea locurilor de parcare din mediul urban în spații verzi

Eficiența transformării parcarilor în vederea combaterii ICU s-a dovedit una redusă, datorită ponderii scăzute a spațiului cu această destinație. Întrucât reducerea temperaturii aerului ca urmare a amenajării spațiilor verzi se produce exponențial, se recomandă utilizarea acestei metode doar în cadrul unei abordări integrate de combatere a ICU.

6.1.2.3 Efectul răcoritor al corpurilor de apă

Prezența corpurilor de apă în orașe prezintă un potențial ridicat de răcorire (mai ales cele curgătoare), fiind bine cunoscut rolul acestora în atenuarea efectului ICU. Apa are un efect răcoritor de 1-4 °C care se propagă la aproximativ 30-35 m (Kleerekoper *et al.* 2012). Fluxurile de căldură specifice apelor curgătoare pot fi reproduse în cadrul unor amenajări hidrotehnice de mici

dimensiuni (precum lacuri, iazuri, heleștee, bazine, cascade, ochiuri de apă), cu rol decorativ, dar și funcțional din punct de vedere al combaterii ICU.

6.1.3 Ventilarea naturală

Ventilarea naturală reprezintă cea mai eficientă tehnică de răcorire pasivă care poate asigura răcirea spațiilor atât în timpul nopții, cât și în timpul zilei. Dintre tehnicile pentru obținerea acesteia amintim *aranjarea ferestrelor clădirilor perpendicular pe direcția vântului dominant* – care ar asigura o bună ventilare naturală și un climat interior calitativ, *utilizarea acoperișurilor ventilate* și *variația în regimul de înălțime al clădirilor* – care facilitează mișcarea curenților de aer.

6.2 Direcții generale pentru formularea unei politici de combatere a ICU în Cluj-Napoca

Chiar dacă există costuri asociate, uneori deloc neglijabile, în Municipiul Cluj-Napoca se impune formularea unei strategii de combatere a fenomenului și a efectelor negative ale acestuia, a cărui intensitate maximă identificată în prezenta lucrare depășește $3,5^{\circ}\text{C}$ în timpul verii

Pe baza unei atente revizuirii a literaturii de specialitate, se recomandă implementarea unei strategii integrate, cu măsuri la nivel de oraș, dar și la nivel de clădire, care să includă direcții precum crearea de noi spații verzi, modificarea albedo-ului suprafețelor urbane, aplicarea unui set de bune practici în designul urban și planificarea teritorială, dar și informarea populației. Acestea reprezintă măsuri indispensabile pentru combaterea ICU și pentru consolidarea unei infrastructuri verzi în Municipiul Cluj-Napoca. Lipsa unei asemenea strategii afectează mediul, societatea și



Figura 6.3 Fațadă verde tradițională, perete viu modular și ghivece perimetrice.
Surse: www.static1.squarespace.com; www.souceable.net; www.lksf.org

economia, efectele negative fiind amplificate mai ales în timpul valurilor de căldură.

7. CONCLUZII

Lucrarea de față a vizat evaluarea ICU atmosferică, a celei de suprafață și a impactului valurilor de căldură asupra ICUS, precum și identificarea de soluții durabile pentru Cluj-Napoca, municipiu de rangul I și al doilea cel mai mare oraș după București.

Pentru evaluarea ICU urbană în municipiul Cluj-Napoca în prezentul studiu s-a utilizat de asemenea o abordare mixtă, fiind combinate măsurătorile în puncte fixe (staționare), observațiile meteorologice mobile și estimarea temperaturii de suprafață pe baza imaginilor satelitare Landsat.

ICUA a fost identificată în toate campaniile de măsurători. În punctele fixe, diferențele cele mai mari față de PR (arealele de tip „hot spot”) au fost identificate de obicei în tipurile compacte de înălțime mare și medie – cartierele cu blocuri și suprafețe impermeabile considerabile, dar și în centrul orașului. Regimul de înălțime mai redus al clădirilor din secolele XVIII și XIX determină temperaturi ale aerului mai scăzute în zona centrală comparativ cu cartierele de locuire colectivă. Depistarea intensității maxime în alte zone climatice locale se datorează unor fenomene diferite de ICU (valuri de căldură, advecție de aer cald, inversiuni termice).

Pe profilele termice, efectul ICU a fost observat în fiecare dintre cele 7 seturi de date analizate, însă graficele termice au avut forme diferite. Diferențele se leagă de caracteristicile fiecărui profil, de condițiile sinoptice și de circulația locală a aerului.

În vara anului 2015 a fost analizată de asemenea și temperatura de suprafață, fiind utilizate 3 scene satelitare preluate de senzorul OLI_TIRS în timpul a 3 valuri de căldură de intensitate diferită.

ICU de suprafață a fost observată în toate cazurile analizate, cu diferențe de temperatură față de PR de peste 5°C. Valorile cele mai mari au corespuns zonelor industriale, comerciale și cartierelor rezidențiale, iar cele mai mici spațiilor verzi, corpurilor de apă și zonelor de pădure.

Soluțiile cele mai des întâlnite pentru combaterea ICU sunt reintroducerea vegetației urbane și mărirea albedo-ului în interiorul orașului.

Lucrarea de față a vizat și identificarea unor posibile soluții pentru municipiul Cluj-Napoca unde intensitatea ICU depășește 3,5 °C. Direcțiile principale ale unei strategii integrate (la nivel de clădire și la nivel de oraș) menite să combată fenomenul ar trebui să fie crearea de noi spații verzi, creșterea reflectivității urbane, implementarea unui set de bune practici în designul urban și informarea populației.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Akbari, Hashem. 2005. "Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation." *Lawrence Berkeley National Laboratory*, August.
- Akbari, Hashem, Constantinos Cartalis, Denia Kolokotsa, Alberto Muscio, Anna Laura Pisello, Federico Rossi, Matheos Santamouris, Afroditi Synnefa, Nyuk Hien Wong, and Michele Zinzi. 2016. "Local Climate Change and Urban Heat Island Mitigation Techniques – the State of the Art." *Journal of Civil Engineering and Management* 22 (1): 1–16.
- Barsi, Julia A., John R. Schott, Frank D. Palluconi, and Simon J. Hook. 2005. "Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments." In *Proc. SPIE 5882, Earth Observing Systems X, 58820E*, 5882:58820E-58820E – 7.
- Belozarov, Valeriu. 1972. "Clima Oraşului Cluj Şi a Împrejurimilor - Teză de Doctorat."
- Cameron, Ross W.F., Jane E. Taylor, and Martin R. Emmett. 2014. "What's 'Cool' in the World of Green Façades? How Plant Choice Influences the Cooling Properties of Green Walls." *Building and Environment* 73 (March): 198–207.
- Carlson, Toby N., and David A. Ripley. 1997. "On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index." *Remote Sensing of Environment* 62 (3): 241–52.
- Chander, G., and B. Markham. 2003. "Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41 (11): 2674–77.
- Cristea, Marius, Codruta Mare, Ciprian Moldovan, and Thomas Farole. 2017. *ORAŞE MAGNET - Migraţie Şi Navetism În România*. Bucureşti: World Bank Group.
- Croitoru, Adina Eliza. 2014. "Heat Waves. Concept, Definition and Methods Used to Detect." *Riscuri Şi Catastrofe XIII* 15 (2).
- Fărcaş, Ioan. 1999. *Clima Urbană*. Cluj-Napoca: Casa Cărţii de Ştiinţă.
- Gartland, Lisa. 2008. *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. London ; Sterling, VA: Earthscan.
- Grubler, Arnulf, Xuemei Bai, Thomas Buettner, Shobhakar Dhakal, David J. Fisk, Toshiaki Ichinose, James E. Keirstead, et al. 2012. "Urban Energy Systems." In *Global Energy Assessment (GEA) - Toward a Sustainable Future*, 1307–1400. Cambridge University Press.
- Hashem, Akbari, Ryan Bell, Tony Brazel, David Cole, Maury Estes, Gordon Heisler, David Hitchcock, et al. 2016. "Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Urban

- Heat Island Basics.” Reports and Assessments. US Environmental Protection Agency.
<https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- Herbel, Ioana, Adina-Eliza Croitoru, Adina Viorica Rus, Cristina Florina Roșca, Gabriela Victoria Harpa, Antoniu-Flavius Ciupertea, and Ionuț Rus. 2017. “The Impact of Heat Waves on Surface Urban Heat Island and Local Economy in Cluj-Napoca City, Romania.” *Theoretical and Applied Climatology* 133 (3–4): 681–95.
- Herbel, Ioana, Adina-Eliza Croitoru, Ionuț Rus, Gabriela Victoria Harpa, and Antoniu-Flavius Ciupertea. 2016. “Detection of Atmospheric Urban Heat Island through Direct Measurements in Cluj-Napoca City, Romania.” *Hungarian Geographical Bulletin* 65 (2): 117–28.
- Hove, L.W.A. van. 2011. *Exploring the Urban Heat Island Intensity of Dutch Cities: Assessment Based on a Literature Review, Recent Meteorological Observation and Datasets Provide by Hobby Meteorologists*. Wageningen: Alterra.
- Imbroane, Alexandru. 2014. “Urban Heat Island Detection by Integrating Satellite Image Data and GIS Techniques. Case Study: Cluj-Napoca City, Romania.” In .
- Imbroane, Alexandru Mircea. 2018. *Sisteme informatice geografice*. Vol. 2. Cluj-Napoca: Presa Universitară Clujeană.
- Irimuș, Ioan Aurel, Danuț Petrea, Ioan Rus, and Ana-Maria Corpade. 2010. “Vulnerabilitatea Spațiului Clujean La Procesele Geomorfologice Contemporane.” *Studia Universitatis Babeș-Bolyai Cluj-Napoca, Geographia*, , no. 1.
- Karlessi, T., M. Santamouris, A. Synnefa, D. Assimakopoulos, P. Didaskalopoulos, and K. Apostolakis. 2011. “Development and Testing of PCM Doped Cool Colored Coatings to Mitigate Urban Heat Island and Cool Buildings.” *Building and Environment* 46 (3): 570–76.
- Kleerekoper, Laura, Marjolein van Esch, and Tadeo Baldiri Salcedo. 2012. “How to Make a City Climate-Proof, Addressing the Urban Heat Island Effect.” *Resources, Conservation and Recycling, Climate Proofing Cities*, 64 (July): 30–38.
- Kolokotsa, D., M. Santamouris, and S. C. Zerefos. 2013. “Green and Cool Roofs’ Urban Heat Island Mitigation Potential in European Climates for Office Buildings under Free Floating Conditions.” *Solar Energy* 95 (September): 118–30.
- Landsberg, Helmut Erich. 1981. *The Urban Climate*. International Geophysics Series, v. 28. New York: Academic Press.
- “Landsat User Manual 8 V 2.0.” 2016. Interior Department, U.S. Geological Survey.

- “Memoriu General La Planul Urbanistic General al Municipiului Cluj-Napoca.” 2012. Cluj-Napoca Mayor's Office.
- United Nations, and Department of Economic and Social Affairs. 2014. *World Urbanization Prospects, the 2014 Revision: Highlights*.
- Oke, T. R. 1982. “The Energetic Basis of the Urban Heat Island.” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108 (455): 1–24.
- Oke, T.R. 1988. “The Urban Energy Balance.” *Progress in Physical Geography* 12 (4): 471–508.
- Pérez, Gabriel, Julià Coma, Ingrid Martorell, and Luisa F. Cabeza. 2014. “Vertical Greenery Systems (VGS) for Energy Saving in Buildings: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39 (November): 139–65.
- Sailor, David J. 1995. “Simulated Urban Climate Response to Modifications in Surface Albedo and Vegetative Cover.” *Journal of Applied Meteorology* 34 (7): 1694–1704.
- Santamouris, M. 2013. “Using Cool Pavements as a Mitigation Strategy to Fight Urban Heat Island—A Review of the Actual Developments.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (October): 224–40.
- Seto, Karen C., Burak Güneralp, and Lucy R. Hutyrá. 2012. “Global Forecasts of Urban Expansion to 2030 and Direct Impacts on Biodiversity and Carbon Pools.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (40): 16083–88.
- Sfîcă, Lucian, Adina-Eliza Croitoru, Iulian Iordache, and Antoniu-Flavius Ciupertea. 2017. “Synoptic Conditions Generating Heat Waves and Warm Spells in Romania.” *Atmosphere* 8 (12): 50.
- Shahmohamadi, P., A. I. Che-Ani, A. Ramly, K. N. A. Maulud, and M. F. I. Mohd-Nor. 2010. “Reducing Urban Heat Island Effects: A Systematic Review to Achieve Energy Consumption Balance.” *International Journal of Physical Sciences* 5 (6): 626–36.
- Sobrino, José A., J. C. Jimenez-Munoz, and Leonardo Paolini. 2004. “Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM 5.” *Remote Sensing of Environment* 90: 434–40.
- Song, Xiao-Peng, Joseph O. Sexton, Chengquan Huang, Saurabh Channan, and John R. Townshend. 2016. “Characterizing the Magnitude, Timing and Duration of Urban Growth from Time Series of Landsat-Based Estimates of Impervious Cover.” *Remote Sensing of Environment* 175 (March): 1–13.
- Stewart, I. D., and T. R. Oke. 2012. “Local Climate Zones for Urban Temperature Studies.” *Bulletin of the American Meteorological Society* 93 (12): 1879–1900.

- Susca, T., S. R. Gaffin, and G. R. Dell’Osso. 2011. “Positive Effects of Vegetation: Urban Heat Island and Green Roofs.” *Environmental Pollution*, Selected papers from the conference Urban Environmental Pollution: Overcoming Obstacles to Sustainability and Quality of Life (UEP2010), 20-23 June 2010, Boston, USA, 159 (8–9): 2119–26.
- Taha, Haider, Hashem Akbari, Arthur Rosenfeld, and Joe Huang. 1988. “Residential Cooling Loads and the Urban Heat Island—the Effects of Albedo.” *Building and Environment* 23 (4): 271–
- Unger, János. 2004. “Intra-Urban Relationship between Surface Geometry and Urban Heat Island: Review and New Approach.” *Climate Research* 27 (MTMT:1149805): 253–64.
- Weng, Qihao, Dengsheng Lu, and Jacquelyn Schubring. 2004. “Estimation of Land Surface Temperature–Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies.” *Remote Sensing of Environment* 89 (4): 467–83.
- Xiong, Yongzhu, Shaopeng Huang, Feng Chen, Hong Ye, Cuiping Wang, and Changbai Zhu. 2012. “The Impacts of Rapid Urbanization on the Thermal Environment: A Remote Sensing Study of Guangzhou, South China.” *Remote Sensing* 4 (12): 2033–56.
- Yuan, Fei, and Marvin E. Bauer. 2007. “Comparison of Impervious Surface Area and Normalized Difference Vegetation Index as Indicators of Surface Urban Heat Island Effects in Landsat Imagery.” *Remote Sensing of Environment* 106 (3): 375–86.