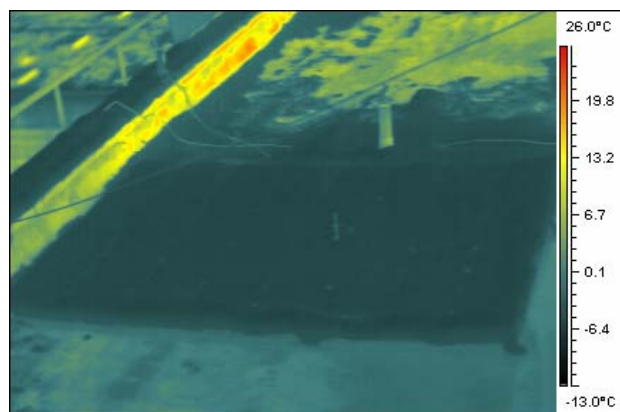


STUDIU PRIVIND IMPACTUL TERMOENERGETIC AL UNUI ACOPERIȘ VERDE MODULAR ASUPRA UNEI CLĂDIRI

Rezultate preliminare pentru condiții de iarnă



Februarie 2011

STUDIU PRIVIND IMPACTUL TERMOENERGETIC AL UNUI ACOPERIȘ VERDE MODULAR ASUPRA UNEI CLĂDIRI

Rezultate preliminare pentru condiții de iarnă

Considerații introductive

În vederea derulării unui studiu relevant privind impactul termoenergetic al unui acoperiș verde modular, asupra unei clădiri, a fost conceput un experiment complex, bazat pe un stand experimental realizat în urma unei colaborări dintre Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca în calitate de executant și SC Martensita SRL din Cluj-Napoca în calitate de beneficiar.

Obiectul studiului este reprezentat de un acoperiș verde modular, produs de beneficiar și montat pe acoperișul tip terasă al unui corp de clădire al executantului.

Rezultatele preliminare conținute în prezentul raport, se referă la modul de comportare a acoperișului verde modular și efectele pe care le produce acesta asupra clădirii, din punct de vedere termodinamic, în condiții de iarnă.

A fost evaluat potențialul de cercetare oferit de trei metode de investigare diferite:

- Analiza vizuală;
- Termoviziune;
- Monitorizare.

Analiza vizuală a fost realizată în perioada 25.01.2011 – 01.02.2011, cu ajutorul unor fotografii ale amplasamentului.

Analiza prin termoviziune a fost realizată în data de 25.01.2011, cu ajutorul unei camere de fotografiere în infraroșu.

Monitorizarea a fost realizată într-o perioadă de trei zile consecutive în intervalul dintre 24.01.2011 ora 00:00 și 27.01.2011 ora 00:00. În intervalul menționat, temperaturile ambiante au fost permanent negative.

Studiul a început într-un moment în care s-a observat că zăpada căzută în zilele anterioare, se topise pe cea mai mare parte a acoperișului terasă, dar nu și pe acoperișul verde modular, așa cum se observă în imaginile alăturate.



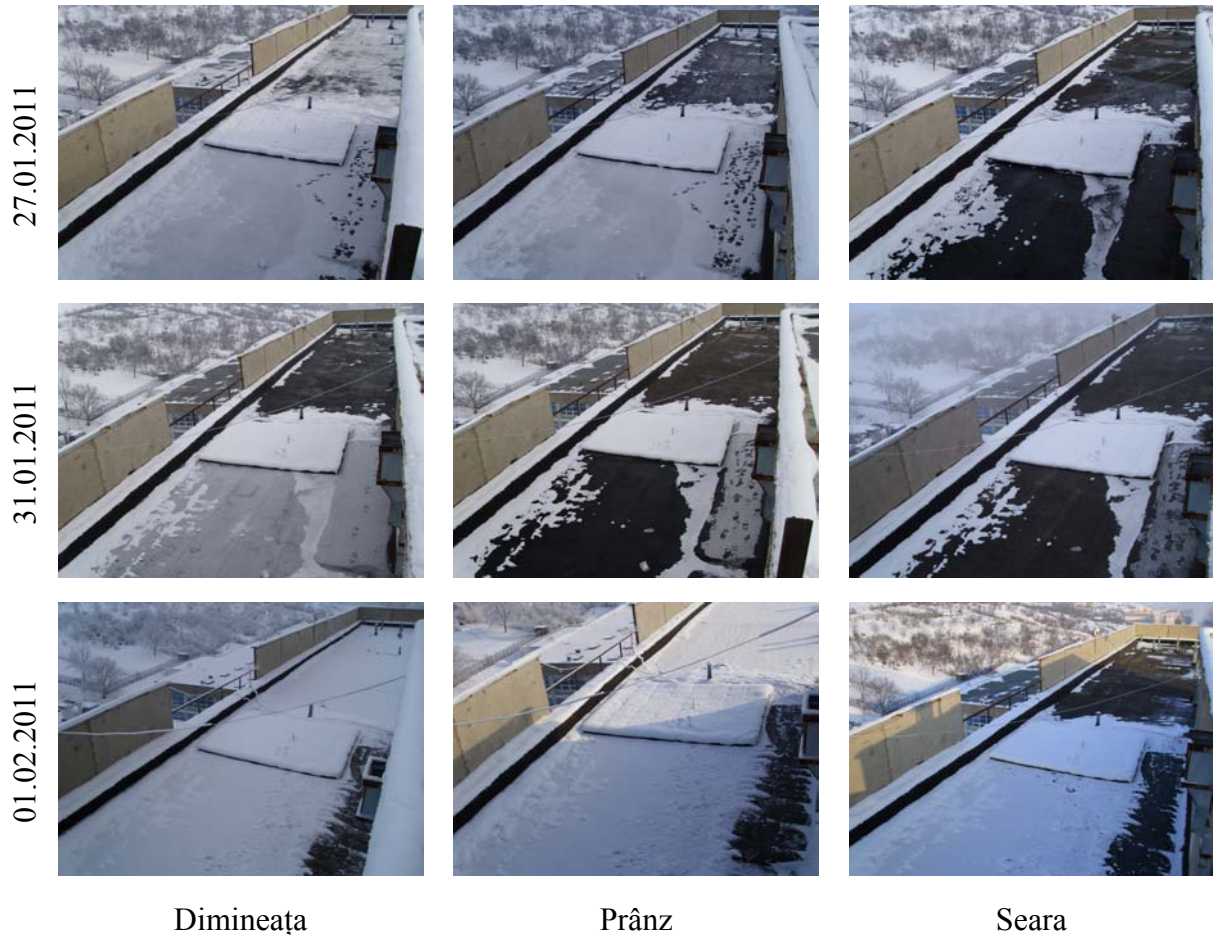
Imagini ale acoperișului terasă fără zăpadă și ale acoperișului verde modular cu zăpadă (25.01.2011)

Grosimea măsurată a stratului de zăpadă de pe acoperișul verde, în data de 24.01.2011 ora 17:00, era cuprinsă între 6 cm în zona din mijlocul acoperișului verde modular și 12 cm în unele zone din marginea acestuia. O analiză atentă a aspectului stratului de zăpadă de pe acoperișul verde modular (imaginea din stânga jos), permite identificarea precisă a conturului fiecărui modul de acoperiș verde, iar în colțul de S-E (stânga jos) se observă poziția precisă a colțurilor de îmbinare a modulelor, zăpada fiind topită local în câteva puncte.

Rezultate obținute prin analiză vizuală

Metoda analizei vizuale, permite doar o analiză calitativă, dar chiar și aceasta evidențiază câteva aspecte interesante.

Alăturat, sunt prezentate imagini succesive, realizate dimineața, la prânz și seara, în câteva zile caracterizate prin aspect vizibil schimbător al acoperișului.



Există două cauze ale topirii zăpezii:

- Radiația solară, care se manifestă numai în zona de Est (sus pe imagini)
- Transferul termic dinspre interiorul clădirii prin acoperiș, care se manifestă peste tot

Având în vedere că datorită unei construcții existente pe acoperiș, radiația solară se manifestă numai în zona de Est, ritmul de topire a zăpezii este diferit. Zăpada se topește sistematic și treptat în jurul acoperișului verde, dar nu și pe acesta.

Această observație sugerează cel puțin din punct de vedere calitativ, că în zona acoperișului verde, intensitatea transferului termic este mult diminuată, față de restul zonelor acoperișului.

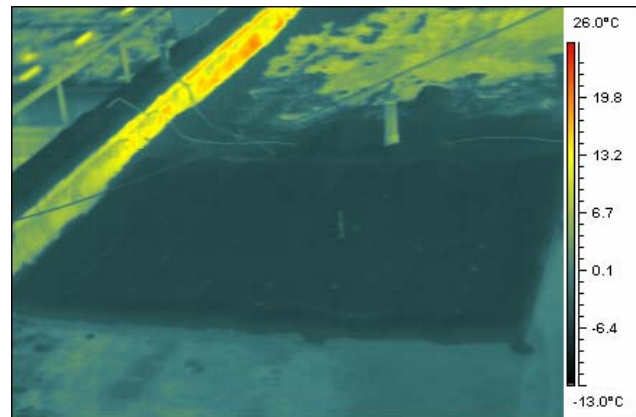
Rezultate preliminare obținute prin termoviziune

Pentru a obține informații calitative privind câmpul de temperaturi din zona acoperișului verde modular și din jurul acestuia, a fost realizat un studiu prin termoviziune, cu ajutorul unei camere foto în infraroșu.

Imaginile alăturate, prezintă zona acoperișului verde modular, în vedere normală și în infraroșu.



Imagine normală



Imagine în infraroșu

Imaginea în infraroșu, a fost realizată în data de 25.01.2010 și prelucrată considerând aceeași valoare a emisivității zăpezii și a stratului de bitum de pe acoperișul terasă, ținând seama și de umiditatea relativă a aerului măsurată cu ajutorul unei stații meteo.

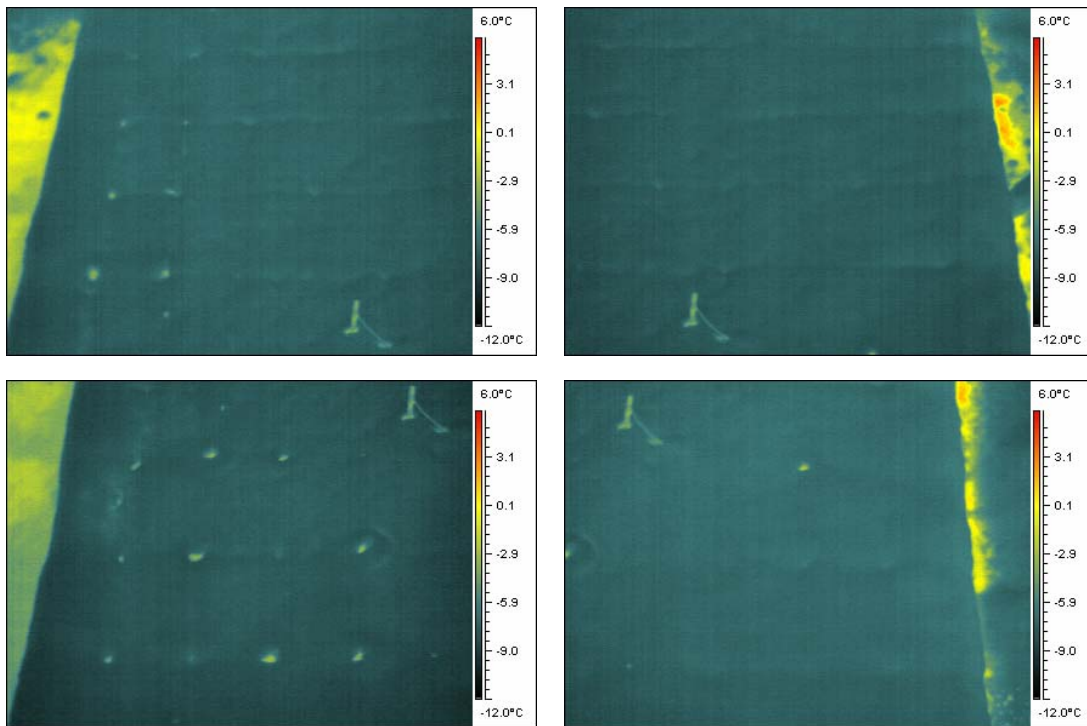
Pentru zăpadă, emisivitatea are valori uzuale în intervalul: 0.969 - 0.997, iar pentru bitumul de pe acoperiș, emisivitatea are valori uzuale în jur de 0.93. Toate valorile corespund temperaturii suprafeței de 27°C și sunt furnizate pe internet de Engineering ToolBox: <http://www.engineeringtoolbox.com>

Imaginea în infraroșu corespunde emisivității suprafețelor (sau coeficient de emisivitate) de 0.95 și umidității relative a aerului de 75%.

Zona de culoare închisă de pe imaginea în infraroșu, caracterizată prin temperatură scăzută, corespunde acoperișului verde modular, iar zonele de culoare deschisă, caracterizate prin temperaturi mai ridicate, corespund diverselor porțiuni din acoperișul terasă. Cele mai ridicate temperaturi corespund zonelor roșcate.

Analizând fotografia în infraroșu, temperatura medie în zona acoperișului verde este estimată la cca. -5°C, iar temperatura medie a restului suprafeței acoperișului, este estimată la cca. 5°C. Temperatura aerului ambiant în momentul efectuării fotografiei a fost de -7°C. În aceste condiții, se poate considera că fluxul termic pierdut prin zona acoperișului verde, este de cca. 3 ori mai redus, decât prin restul acoperișului.

Pentru a detalia mai bine ce se întâmplă în zonele de îmbinare a modulelor acoperișului verde, a fost realizată o și analiză prin termoviziune a acestei zone, rezultatele fiind prezentate alăturat. Valorile emisivității și a umidității aerului, sunt cele menționate anterior.



Detalii în infraroșu ale acoperișului verde modular

Analiza acestor imagini, permite evidențierea faptului că datorită imperfecțiunilor de îmbinare a modulelor, în unele zone de îmbinare s-au creat punți termice, datorită cărora zăpada a fost topită local, iar în unele din aceste zone pot fi evidențiate puncte cu temperatură mai ridicată.

Din aceste imagini se observă că suprafața zăpezii de deasupra acoperișului verde are temperatura de cca. -5°C , iar temperatura acoperișului terasă din jur, are valori cuprinse în intervalul $(-1 \dots + 3)^{\circ}\text{C}$.

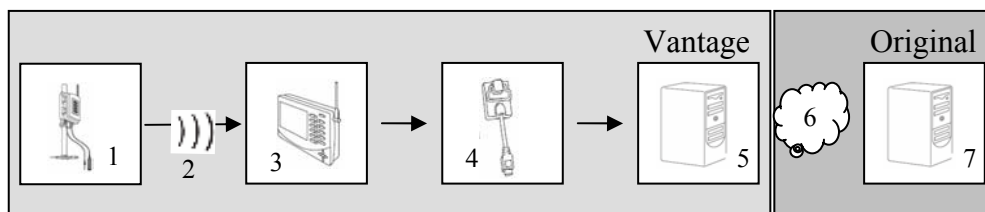
Diferențele mici dintre temperatura suprafeței stratului de zăpadă de pe acoperișul verde și temperatura ambiantă sugerează că intensitatea transferului termic din această zonă este mult mai redusă decât în zona restului acoperișului, unde temperatura suprafeței acestuia este mult mai ridicată.

Rezultate preliminare obținute prin monitorizare

În vederea monitorizării modului de comportare în timp a acoperișului verde modular, a fost conceput și pus în funcțiune, un sistem experimental, ale cărui elemente componente au fost puse la dispoziție parțial de executant și parțial de beneficiar.

Sistemul de monitorizare include ca element central, o stație de măsură a temperaturii și umidității solului, produsă de Davis Instruments, S.U.A., model Vantage.

Modul de funcționare a sistemului de măsură și stocare a datelor, este prezentat în figura alăturată

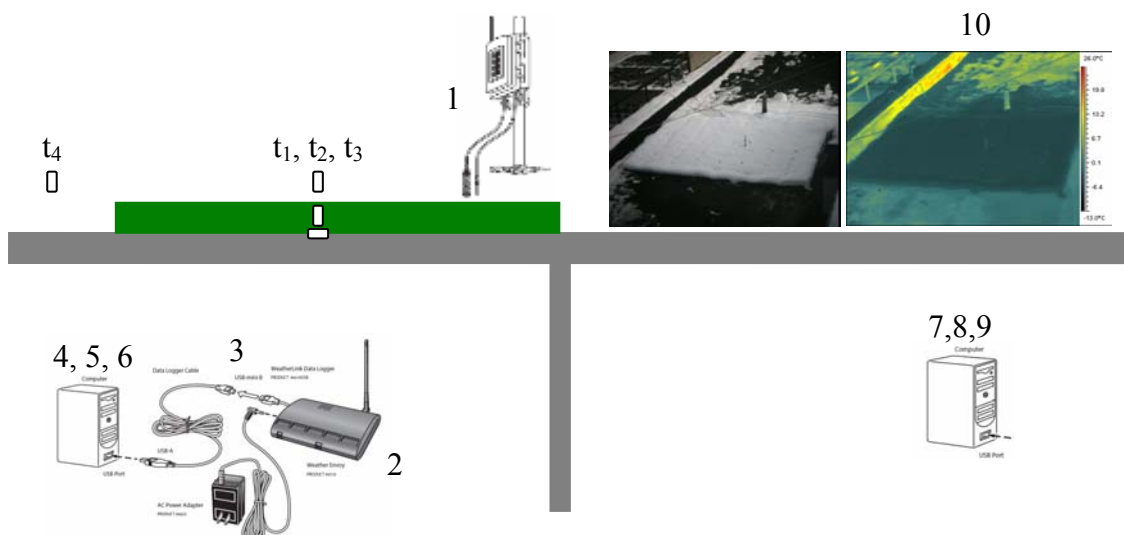


Schema sistemului de măsură

1 - stație temperatură / umiditate sol; 2 - sistem radio de comunicare wireless; 3 - consolă; 4 - înregistrator date; 5 - calculator achiziție date; 6 - conexiune internet; 7 - server

Componentele 1-5 reprezintă soluția de măsurare implementată de producătorul echipamentului, iar elementele 6,7 reprezintă o dezvoltare realizată de executant.

Schema de principiu a sistemului experimental și a modului de amplasare a senzorilor, este prezentată în figura alăturată



Schema de principiu a sistemului experimental. Modul de amplasare a senzorilor

1 - stație temperatură / umiditate sol; 2 - consolă; t_1, t_2, t_3, t_4 - senzori temperatură; 3 - înregistrator de date; 4 - calculator achiziție date; 5 - software achiziție date; 6 - software transfer date; 7 - server web; 8 - bază de date; 9 - interfață acces date; 10 - sistem termoviziune

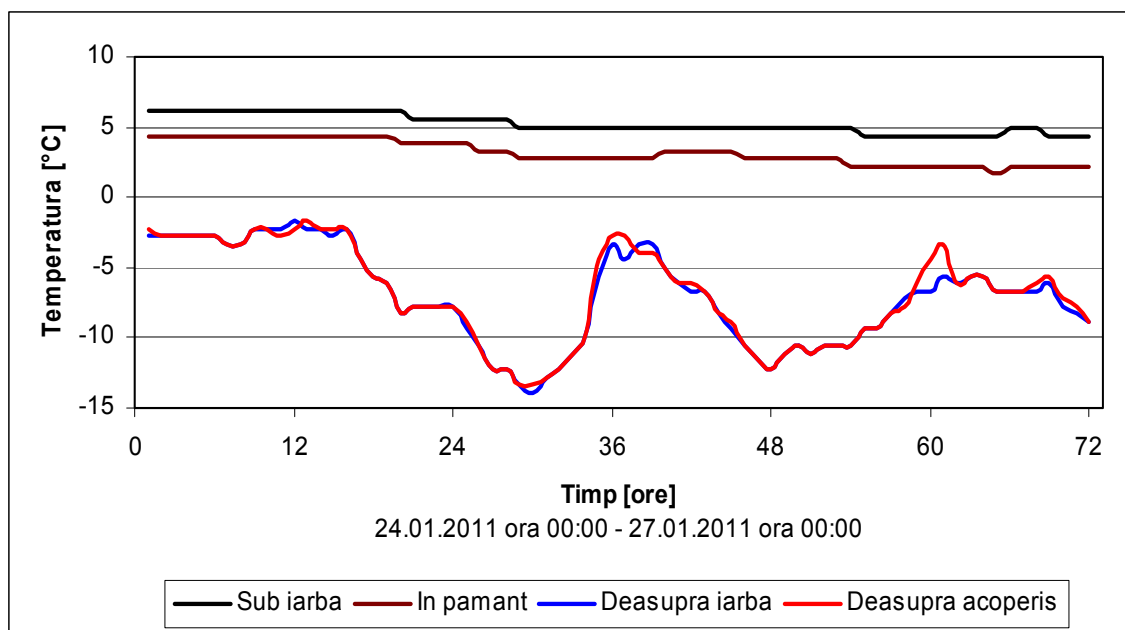
Rezultatele preliminare cuprinse în prezentul raport, se referă numai la informațiile transmise de senzorii de temperatură notați cu t_1, t_2, t_3, t_4 și amplasați după schema prezentată în tabelul alăturat și sugerată în figura anterioară.

Senzor	Amplasament senzor	Notație amplasament
t ₁	Între acoperișul verde modular și acoperișul terasă	Sub iarbă
t ₂	În stratul de pământ al acoperișului verde modular	În pământ
t ₃	Deasupra acoperișului verde modular	Deasupra iarbă
t ₄	Deasupra acoperișului terasă	Deasupra acoperiș

Primii trei senzori de temperatură, au fost amplasați pe verticală, în zona centrală a acoperșului verde modular. Al patrulea senzor de temperatură, a fost montat deasupra acoperișului terasă, într-o zonă suficient de îndepărtată, pentru a nu fi influențată din punct de vedere termic de acoperișul verde. Așa cum sugerează și imaginea, senzorii amplasați în aer, au fost montați la aceeași înălțime față de acoperișul terasă (cca. 10 cm).

Pentru fiecare dintre senzorii de temperatură montați în aer, urmează să fie manufacturată, câte o “cutie” care să protejeze senzorii de influența radiației solare și să permită măsurarea temperaturii “la umbră”, astfel încât diferențele dintre indicațiile celor doi senzori, vor fi datorate exclusiv influenței acoperișului verde modular.

În figura alăturată sunt prezentate rezultatele obținute prin monitorizarea valorilor măsurate de cei patru senzori, în intervalul de trei zile considerat: 24-27.01.2011.



Curbele de variație a temperaturilor măsurate de senzori

Analizând modul de variație a temperaturilor, în punctele de măsură pot fi evidențiate următoarele constatări:

- Zona temperaturilor negative a fost reprezentată prin fondul albastru deschis de pe diagrama de variație a temperaturilor;
- Zona temperaturilor pozitive a fost reprezentată prin fondul roșu deschis de pe diagrama de variație a temperaturilor;
- Cei doi senzori amplasați în aer, deasupra ierbii (t_3) și deasupra acoperișului (t_4), au înregistrat practic aceeași variație a temperaturii, cu excepția momentelor în care unul din cei doi senzori a fost încălzit de radiația solară, iar celălalt a fost umbrat de construcțiile tehnice existente pe acoperiș;
- Pe toată durata perioadei considerate, temperatura aerului a fost negativă, având valori în intervalul: $-1.7 \dots -13.9^\circ\text{C}$. Domeniul de variație a temperaturii exterioare a fost de 12.2°C .
- Pe toată durata perioadei considerate, temperatura pământului din acoperișul verde modular a fost pozitivă, având valori în intervalul: $1.7 \dots 4.4^\circ\text{C}$. În aceste condiții, cu toate că temperaturile exterioare au ajuns aproape de -14°C , pământul în care a fost plantată iarba, nu a înghețat niciodată în acest interval, aspect foarte important pentru dezvoltarea vegetației din acoperișul verde. Un rol important în menținerea temperaturii pământului, peste limita de îngheț, a fost jucat de prezența zăpezii, deasupra acoperișului verde, singura zonă cu zăpadă de pe acoperiș;
- Temperatura pământului s-a menținut cvasi-constantă, în jurul valorii de 3°C , domeniul de variație a acestei mărimi fiind de numai 2.7°C ;
- Pe toată durata perioadei considerate, temperatura de sub acoperișul modular, a variat între $4.4 \dots 6.1^\circ\text{C}$, reprezentând un interval de variație de 1.7°C . Se poate considera că temperatura de sub acoperișul verde s-a menținut aproximativ constantă, în jurul valorii de 5°C ;
- Valorile cvasi-constante ale temperaturii pământului și ale temperaturii dintre acoperișul terasă și acoperișul verde, sugerează un regim cvazi-staționar de transfer termic prin plafon, în zona acoperișului verde.

Valoarea fluxului termic transferat dinspre clădire spre exterior, în zona acoperișului terasă, este estimată la $100 \dots 300 \text{ W/m}^2$.

Valoarea fluxului termic transferat dinspre clădire spre exterior, în zona acoperișului verde modular, este estimată la $30 \dots 100 \text{ W/m}^2$.

Posibilități de continuare a cercetărilor

În viitorul apropiat urmează să fie manufacturate două “cutii” care să protejeze senzorii din mediul ambiant de influența radiației solare, ceea ce va permite obținerea de rezultate concludente și pe timp de iarnă, când radiația solară va fi importantă. *Termen estimat până la finalizare: 30.02.2011.*

A fost efectuat un studiu bazat pe calculul poziției Soarelui pe cer, în Cluj-Napoca și s-a constatat că amplasamentul actual al acoperișului verde modular, ar fi puternic influențat de construcțiile tehnice existente pe acoperiș, care ar produce un grad de umbrire semnificativ, ceea ce poate reduce considerabil relevanța studiului pe timp de vară. În acest context, a fost identificat un alt amplasament posibil, deasupra unei încăperi, care ar putea fi acoperită pe jumătate cu acoperișul verde existent. Modificarea amplasamentului actual este propusă pentru începutul primăverii, când temperaturile și condițiile atmosferice vor permite derularea acestei activități. Se solicită sprijinul beneficiarului pentru realizarea acestei operații. *Termen estimat până la finalizare: 30.03.2011.*

În perioada următoare va fi montat un set de senzori, care să monitorizeze variația temperaturii pe fața interioară a tavanului, atât sub zona corespunzătoare acoperișului verde, cât și în restul încăperii, respectiv în zona de la limita dintre cele două zone. *Termen estimat până la finalizare: 30.02.2011.*

Monitorizarea temperaturilor în cele patru puncte de măsură, va continua în principiu neîntrerupt, atât pe timp de vară cât și pe timp de iarnă, cel puțin până la sfârșitul anului 2011. Rezultatele obținute vor fi interpretate minim de 3-4 ori pe durata anului 2011 și vor fi prezentate beneficiarului, sub forma unor rapoarte intermediare.

A fost identificat un instrument foarte util, pentru măsurarea sarcinilor termice pierdute prin plafonul clădirii în zonele cu și fără acoperiș verde modular, reprezentat de un set de senzori pentru măsurarea directă a fluxurilor de căldură. Utilizarea acestui sistem nu este obligatorie, dar reprezintă singura soluție pentru determinarea prin măsurători a fluxurilor termice transmise prin acoperiș (vara și iarna). Orice alte variante presupun calcule, care în contextul în care nu se cunoaște structura exactă a plafonului, vor fi aproximative. Se estimează că ar fi necesari minim 4 (patru) asemenea senzori, 2 (doi) pentru zona fără acoperiș verde și 2 (doi) pentru zona cu acest acoperiș. Au fost identificați senzori potriviți pentru asemenea aplicații: <http://www.hukseflux.com/products/heatFlux/hfp01.html>. Pretul unitar al unui asemenea senzor, comunicat de furnizor, este de 320 Euro.

Concluzii

În urma derulării studiului preliminar, pot fi extrase următoarele concluzii:

- Au fost identificate și verificate două metode științifice de investigare a impactului termoenergetic al acoperișului verde asupra clădirii: analiza prin termoviziune și monitorizarea temperaturilor în mai multe puncte de măsură relevante. Ambele metode de analiză au fost utilizate cu succes, dovedindu-și potențialul pentru derularea ulterioară a cercetărilor;
- A fost evidențiat impactul favorabil al acoperișului verde asupra clădirii pe timp de iarnă, prin reducerea semnificativă a transferului termic, având ca efect menținerea stratului de zăpadă deasupra zonei “verzi”, cu numeroase efecte favorabile;
- Acoperișul verde permite menținerea unei temperaturi mult peste cea a mediului ambiant, în zona dintre acoperișul verde modular și acoperișul terasă, cu efecte favorabile asupra reducerii pierderilor de căldură pe timp de iarnă;
- A fost identificată o metodă de determinare directă prin măsurători, a fluxurilor termice transmise prin acoperiș, cu ajutorul unor senzori specializați. Au fost determinate costurile presupuse de această metodă de investigare, dar nu au fost identificate surse posibile de finanțare;
- Se estimează că instrumentele și metodele de lucru identificate, dintre care unele au fost și testate cu succes, vor permite realizarea de studii concludente, care să evidențieze aspecte multiple ale avantajelor din punct de vedere termoenergetic, pe care le prezintă acoperișul verde modular;

Cluj-Napoca: 16.02.2011

Prof. dr. ing. Mugur Bălan
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Facultatea de Mecanică
Catedra de Termotehnică, Mașini și Echipamente Termice
Tel: + 40 745 014 725
e-mail: mugur.balan@termo.utcluj.ro

